

แนวทางการออกแบบปรับปรุงบ้านเอื้ออาทร เพื่อสภาวะน่าสบาย  
และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ



นายอริคม วิมลวัตรเวที

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์


คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6511-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN GUIDELINES FOR IMPROVING THERMAL COMFORT  
AND ENERGY EFFICIENCY OF BAAN EUR AH-TORN



Mister Atikom Wimolwatvatee

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Architecture in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6511-8



อติคม วิมลวัตรเวที : แนวทางการออกแบบปรับปรุงบ้านเอื้ออาทร เพื่อสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (DESIGN GUIDELINES FOR IMPROVING THERMAL COMFORT AND ENERGY EFFICIENCY OF BAAN EUR AH-TORN) อ. ที่ปรึกษา : ผ.ศ. ธนิต จินดาวงศ์,  
อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร, [152 หน้า]. ISBN 974-17-6511-8

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสวงหากลยุทธ์ และเสนอแนะแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารที่พักอาศัยของผู้มีรายได้น้อย ให้เกิดประสิทธิภาพการใช้พลังงานและสร้างสภาวะน่าสบายซึ่งมีความเหมาะสมในเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ โดยใช้อาคารพักอาศัยเดี่ยวสองชั้น ในโครงการบ้านเอื้ออาทรเป็นอาคารกรณีศึกษา การศึกษาวิจัยประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ส่วนแรกเป็นการสำรวจ ประเมินและวิเคราะห์ระดับสภาวะแวดล้อมด้านอุณหภูมิ และการใช้พลังงานในอาคาร โดยทำการจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE 2.1 E ซึ่งใช้เป็นตัวแทนอาคารกรณีศึกษาในการประเมินประสิทธิภาพอาคาร การศึกษาในส่วนหลังเป็นการพิจารณาแนวทางการปรับปรุงองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม และเสนอแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสมกับอาคารกรณีศึกษา

ผลการวิจัยพบว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร มาจากองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ไม่มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพเพียงพอที่จะต้านทานความร้อนจากภายนอกได้ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารเกิดขึ้นสูง ซึ่งองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่พบสภาพปัญหา และควรนำมาพิจารณาปรับปรุงได้แก่ ผนังทึบและช่องเปิดหน้าต่าง จากสภาพปัญหาดังกล่าวนั้น ส่งผลให้อุณหภูมิภายในบางช่วงเวลา อยู่สูงกว่าระดับสภาวะน่าสบาย โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อน ซึ่งมีอัตราส่วนจำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบายร้อยละ 66.69 ของชั่วโมงที่ใช้สอยพื้นที่ในช่วงกลางวัน และร้อยละ 86.50 ของชั่วโมงที่ใช้สอยพื้นที่ในช่วงกลางคืน

จากการศึกษา สามารถสรุปเป็นแนวทางการปรับปรุงอาคาร เพื่อสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนจำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบายได้ถึงร้อยละ 69.29 ของชั่วโมงที่ใช้สอยพื้นที่ในช่วงกลางวัน และร้อยละ 93.97 ของชั่วโมงที่ใช้สอยพื้นที่ในช่วงกลางคืน โดยมีอัตราค่าก่อสร้างอาคารเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 7.4 และได้ทำการขยายผลการศึกษา โดยการนำแนวทางปรับปรุงอาคารกรณีศึกษามาใช้ร่วมกับการระบายอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน (night ventilation) ซึ่งทำให้มีอัตราส่วนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบายเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 79.54 ของชั่วโมงที่ใช้สอยพื้นที่ในช่วงกลางวัน และร้อยละ 94.65 ของชั่วโมงที่ใช้สอยพื้นที่ในช่วงกลางคืน

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อผู้คิด.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# # 4674196225 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORDS: ENERGY / EFFICIENCY / ARCHITECTURAL DESIGN / THERMAL COMFORT  
 ATIKOM WIMOLWATVATEE: DESIGN GUIDELINES FOR IMPROVING THERMAL COMFORT  
 AND ENERGY EFFICIENCY OF BAAN EUR AH-TORN THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF.  
 THANIT CHINDAVANIG, THESIS COADVISOR: DOCTOR. ATCH SRESHTHAPUTRA, 152 pp.  
 ISBN 974-17-6511-8

The purpose of this study is to investigate thermal performance and then propose design guidelines for improving the energy efficiency and thermal condition of 2-story, low-income houses in the Baan Eur Ah-Torn project. This investigation places appropriate building design techniques and economic values as major concerns. The study was conducted in two parts. The first included surveys, evaluations, and analyses of existing thermal environmental conditions and energy use profiles of the case study house. Calibrated building energy simulations using DOE2.1E were performed in order to evaluate the energy performance of the house. In the second part, architectural design improvements and energy efficiency strategies were proposed in order to perform parametric analysis.

Results indicate that major building heat gains were due to poor insulation in the building envelopes (i.e., opaque walls and fenestrations). The number of hours within the thermal comfort zone were used as an indicator of how the house performs as compared to the original design. In summer, only 66.69 % of daytime hours were in the comfort zone, while 86.50 % of nighttime hours were considered thermally comfortable.

This study then proposes different design strategies to improve thermal performance of the building. It was found that the proposed design can increase the percentage of comfort hours to 69.29 % and 93.97 % for daytime and nighttime, respectively. With only a 7.4 % increase in construction cost. This study also found that using night ventilation can help increase the percentage of comfort hours to 79.54 % and 94.65 % for daytime and nighttime, respectively.

Department Architecture

Field of study Architecture

Academic year 2004

Student's signature.....

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความรู้ ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆอย่างดียิ่ง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

ขอบพระคุณประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์ และกรรมการ อาจารย์พิรัช พัทธเศวต และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตชัย จิตขจรวานิช ที่กรุณาใช้เวลาในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคำแนะนำต่างๆ

ขอบพระคุณผู้บริหารระดับสูงและเจ้าหน้าที่ทุกท่านในสำนักงานการเคหะแห่งชาติ ที่กรุณาใช้เวลาให้ความรู้และข้อคิดเห็นต่างๆ รวมทั้งเจ้าของอาคารกรณีศึกษาที่ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลในครั้งนี้ และบุคคลรอบข้างทุกท่าน ที่ได้เอื้อนนามในที่นี้ ที่คอยให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติผู้ให้ความสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฒ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี และแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย.....</b>	<b>6</b>
2.1 แนวทางในการศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร (Energy Audit).....	6
2.1.1 การศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร.....	6
2.1.2 แนวทางในการสำรวจอาคารเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน.....	8
2.1.3 ข้อจำกัดในการศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร ด้วยการจำลองสภาพในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์.....	9
2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร.....	9
2.2.1 ปัจจัยเชิงกายภาพ.....	9
2.2.2 ปัจจัยเชิงเศรษฐศาสตร์.....	12
2.3 สภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort).....	12
2.3.1 อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolic Rate).....	13
2.3.2 เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-Value).....	14
2.3.3 อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature).....	15
2.3.4 อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature : MRT).....	15
2.3.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity).....	15
2.3.6 ความเร็วลม (Air Velocity).....	16

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 มาตรฐานวัดความสบาย (Thermal Scale).....	16
2.4.1 Effective Temperature (ET) Scale.....	16
2.4.2 Corrected Effective Temperature (CET) Scale.....	17
2.4.3 Resultant Temperature (RT) Scale.....	17
2.4.4 Bioclimatic Index.....	17
2.5 ความเข้าใจในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น.....	18
2.6 การศึกษาสภาวะน่าสบายของประเทศไทย.....	18
2.7 คุณสมบัติทางกายภาพความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร.....	19
2.7.1 ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity).....	20
2.7.2 ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance).....	20
2.7.3 คุณสมบัติของพื้นผิววัสดุที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสี.....	20
2.7.4 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่พื้นผิวของวัสดุ.....	21
2.7.5 ความจุความร้อน (Heat Capacity).....	21
2.8 บทบาทของมวลสารกับการถ่ายเทความร้อน .....	21
2.9 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของมวลสาร.....	24
2.9.1 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ.....	24
2.9.2 การจัดวางตำแหน่งผนังมวลสารภายนอกอาคาร.....	24
2.9.3 อิทธิพลของผนังมวลสารและฉนวนกันความร้อน.....	25
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....</b>	<b>26</b>
3.1 การศึกษาทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย.....	26
3.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลอาคารกรณีศึกษา.....	26
3.2.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร.....	26
3.2.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร.....	27
3.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารจากการสำรวจกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	28
3.4 การวิเคราะห์และประเมินด้านสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร.....	28
3.5 การเสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	28
3.6 การวิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมิน ในแต่ละแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคาร.....	28
3.7 สรุปแนวทางที่เหมาะสม ในการออกแบบปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	28
3.8 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	29
3.8.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร.....	29
3.8.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองสภาพอาคาร DOE 2.1 E.....	30



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 รายละเอียดอาคารกรณีศึกษา และการวิเคราะห์อาคาร.....</b>	<b>36</b>
4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา.....	36
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของอาคาร.....	36
4.1.2 ลักษณะพฤติกรรมการใช้งานของผู้พักอาศัย ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้า.....	38
4.1.3 รายละเอียดองค์ประกอบอาคาร.....	39
4.2 ข้อมูลการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร.....	40
4.2.1 ระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ที่ใช้ในอาคาร.....	40
4.2.2 ระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร.....	41
4.2.3 ปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคาร.....	41
4.3 การวิเคราะห์ระดับสภาวะน่าสบายในอาคารกรณีศึกษา.....	42
4.3.1 การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี .....	43
4.3.2 การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี.....	44
4.3.3 การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายในวันที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิ เฉลี่ยในช่วงฤดูร้อน.....	45
4.3.4 การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายในวันที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิ เฉลี่ยในช่วงฤดูหนาว.....	46
4.3.5 สรุปผลการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายในอาคารกรณีศึกษา.....	47
4.4 ข้อมูลการให้แสงสว่างภายในอาคาร.....	49
4.4.1 ลักษณะของช่องเปิดอาคาร.....	49
4.4.2 การวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างภายในอาคารจากแสงธรรมชาติ.....	49
4.4.3 การวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างภายในอาคารจากแสงประดิษฐ์.....	53
4.4.4 สรุปการวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างภายในอาคาร ทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์.....	54
4.5 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของระบบเปลือกอาคาร.....	54
4.5.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร (OTTV).....	54
4.5.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาของอาคาร (RTTV).....	55
4.6 การเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษากับอาคารจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	56
4.6.1 การจำลองสภาพอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	56
4.6.2 การเปรียบเทียบลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร.....	57
4.6.3 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของอาคาร.....	59
4.7 การศึกษาข้อดี - ข้อเสียของอาคารกรณีศึกษา.....	60

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 5 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....</b>	<b>61</b>
5.1 การกำหนดองค์ประกอบของอาคารที่ควรปรับปรุง.....	61
5.1.1 แสดงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นของห้องนั่งเล่น.....	61
5.1.2 ลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นของห้องนอน 1.....	62
5.1.3 แสดงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นของห้องนอน 2.....	63
5.1.4 องค์ประกอบอาคารที่ไม่นำมาพิจารณาปรับปรุง.....	64
5.1.5 องค์ประกอบอาคารที่นำมาพิจารณาปรับปรุง.....	65
5.2 วิธีการพิจารณาปรับปรุงแต่ละองค์ประกอบอาคาร.....	65
5.2.1 วิธีการลดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ.....	65
5.2.2 วิธีการลดการนำความร้อนและการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ผ่านกระจก.....	65
5.3 แนวทางเลือกในการปรับปรุงแต่ละองค์ประกอบอาคาร.....	66
5.4 การวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงผนังอาคาร.....	67
5.4.1 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี(7 มีนาคม 2542).....	68
5.4.2 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (17 กุมภาพันธ์ 2542).....	72
5.4.3 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542).....	75
5.4.4 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (19 พฤศจิกายน 2542).....	78
5.4.5 สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงผนังอาคาร.....	81
5.5 การวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงหน้าต่างอาคาร.....	82
5.5.1 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542).....	83
5.5.2 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (17 กุมภาพันธ์ 2542).....	87
5.5.3 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542).....	90
5.5.4 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (19 พฤศจิกายน 2542).....	93
5.5.5 สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงหน้าต่างอาคาร.....	96
5.6 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	96
5.6.1 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542).....	97
5.6.2 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (17 กุมภาพันธ์ 2542).....	100
5.6.3 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542).....	103
5.6.4 การเปรียบเทียบ วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (19 พฤศจิกายน 2542).....	106
5.6.5 สรุปผลการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง.....	109

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	112
6.1 การประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา.....	112
6.2 แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	112
6.2.1 ผลการปรับปรุงอาคาร.....	113
6.2.2 ผลการปรับปรุงอาคารร่วมกับการใช้การระบายอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน (night ventilation).....	113
6.3 สรุปประเด็นและปัญหาที่สำคัญในการวิจัย.....	113
6.4 ข้อเสนอแนะ.....	115
รายการอ้างอิง.....	116
ภาคผนวก.....	118
ภาคผนวก ก. ขั้นตอนดำเนินการเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษา กับอาคารจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	119
ภาคผนวก ข. การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร.....	135
ภาคผนวก ค. การกรอกรายละเอียดข้อมูลแบบจำลองอาคารกรณีศึกษา ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	145
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	152

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงเป้าหมายโครงการบ้านเคื้ออาทร ปี พ.ศ. 2546-2550 หน่วย : หน่วย.....	2
ตารางที่ 2.1 แสดงปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในเรื่องสภาวะน่าสบายขั้นพื้นฐานของอุณหภูมิอากาศ.....	10
ตารางที่ 2.2 ความเร็วลมที่เคลื่อนที่เพื่อสร้างสภาวะที่พอเหมาะอยู่ระหว่าง 10-15 ฟุตต่อนาที.....	11
ตารางที่ 2.3 แสดง Metabolic Rate ในกิจกรรมต่างๆ.....	14
ตารางที่ 2.4 แสดงค่า Clo ของเครื่องแต่งกายแบบต่างๆ.....	14
ตารางที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและผลที่อาจเกิดขึ้นทางด้านอุณหภูมิและความรู้สึก...	16
ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดขององค์ประกอบอาคาร.....	39
ตารางที่ 4.2 แสดงชนิดและปริมาณไฟฟ้าในระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร.....	41
ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคาร .....	41
ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละฤดูของประเทศไทย.....	43
ตารางที่ 4.5 แสดงวันที่เลือกมาเป็นวันตัวแทนในการประเมินระดับสภาวะน่าสบายตลอดทั้งปี.....	43
ตารางที่ 4.6 แสดงจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิเข้าสู่สภาวะน่าสบาย จำแนกตามห้อง.....	48
ตารางที่ 4.7 สรุปลักษณะหน้าต่าง ชนิดกระจกและพื้นที่ ในอาคารกรณีศึกษา.....	49
ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลค่าระดับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนั่งเล่น.....	50
ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลค่าระดับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนอน1.....	51
ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลค่าระดับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนอน2.....	53
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารกรณีศึกษา.....	54
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารกรณีศึกษา.....	55
ตารางที่ 4.13 แสดงรายละเอียดการจัดแบ่งพื้นที่และการสำรวจข้อมูลในแต่ละโซน.....	57
ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของอาคารกรณีศึกษา กับการคำนวณด้วยโปรแกรม.....	57
ตารางที่ 5.1 แสดงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นของห้องนั่งเล่น.....	61
ตารางที่ 5.2 แสดงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นของห้องนอน1.....	62
ตารางที่ 5.3 แสดงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นของห้องนอน2.....	64
ตารางที่ 5.4 แสดงรายการคุณสมบัติของวัสดุผนังในแต่ละแนวทางปรับปรุง.....	67
ตารางที่ 5.5 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542).....	69
ตารางที่ 5.6 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542).....	71
ตารางที่ 5.7 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542).....	73
ตารางที่ 5.8 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542).....	74
ตารางที่ 5.9 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542).....	76
ตารางที่ 5.10 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542).....	77
ตารางที่ 5.11 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542).....	79

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 5.12 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542).....	80
ตารางที่ 5.13 แสดงรายการคุณสมบัติหน้าต่างในแต่ละแนวทางปรับปรุง.....	82
ตารางที่ 5.14 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542).....	84
ตารางที่ 5.15 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542).....	86
ตารางที่ 5.16 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542).....	88
ตารางที่ 5.17 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542).....	89
ตารางที่ 5.18 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542).....	91
ตารางที่ 5.19 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542).....	92
ตารางที่ 5.20 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542).....	94
ตารางที่ 5.21 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542).....	95
ตารางที่ 5.22 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542).....	98
ตารางที่ 5.23 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542).....	99
ตารางที่ 5.24 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542).....	101
ตารางที่ 5.25 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542).....	102
ตารางที่ 5.26 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542).....	104
ตารางที่ 5.27 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542).....	105
ตารางที่ 5.28 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542).....	107
ตารางที่ 5.29 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542).....	108
ตารางที่ 5.30 การเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิภายในเข้าสู่สภาวะน่าสบาย จำแนกตามห้องและช่วงเวลาที่ใช้สอยพื้นที่ต่อปี.....	110
ตารางที่ 5.31 การเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิภายในเข้าสู่สภาวะน่าสบายตลอดปี.....	111

## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร ในช่วงเวลาต่างๆของวัน.....	22
ภาพที่ 2.2 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังมวลสารน้อยและผนังมวลสารมาก.....	23
ภาพที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของภาระการปรับอากาศของผนังมวลสารน้อยและมวลสารมาก ในช่วง 1 วัน.....	23
ภาพที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ HOBO data logger.....	29
ภาพที่ 3.2 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิพื้นผิวระยะไกล ชนิดปืน.....	29
ภาพที่ 3.3 แสดงรูปเครื่องมือวัดแสงลักซ์มิเตอร์.....	30
ภาพที่ 4.1 แสดงผังบริเวณโดยรอบ ผังพื้นที่ 1, 2 และหลังคาอาคารกรณีศึกษา.....	36
ภาพที่ 4.2 แสดงแบบรูปด้านอาคารกรณีศึกษา.....	37
ภาพที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายหน้าและหลังอาคารกรณีศึกษา.....	37
ภาพที่ 4.4 แสดงแบบรูปตัด ขึ้นตอนและวัสดุการก่อสร้างอาคารกรณีศึกษา.....	40
ภาพที่ 4.5 แสดงแบบผังไฟฟ้าอาคารกรณีศึกษา.....	40
ภาพที่ 4.6 แสดงลักษณะช่องเปิดอาคารกรณีศึกษา .....	49
ภาพที่ 4.7 แสดงแผนผังการวัดความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนั่งเล่น.....	50
ภาพที่ 4.8 แสดงแผนผังการวัดความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนอน1 และห้องนอน2.....	52
ภาพที่ 4.9 แสดงแผนผังรายละเอียดการจัดกลุ่มพื้นที่ภายในอาคารกรณีศึกษา.....	56
ภาพที่ 4.10 แสดงภาพอาคารที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DRAW BDL. ....	59
ภาพที่ 5.1 แสดงแบบขยายผนังแต่ละแนวทางปรับปรุง.....	68
ภาพที่ 5.2 แสดงลักษณะของแผงกันสาดอุณหภูมิเนียมที่ติดตั้งเพิ่ม.....	83

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญแผนภูมิ

	หน้า
แผนภูมิที่ 1.1 แสดงระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย.....	5
แผนภูมิที่ 2.1 แสดงตัวอย่างแผนภูมิไบโอไคลเมติก (Bioclimatic Chart).....	17
แผนภูมิที่ 2.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความรู้สึกต่อสภาพอากาศของคนในสภาพปรับอากาศ และไม่ปรับอากาศจากการวิจัยที่กรุงเทพฯ ของ J.F. Busch.....	19
แผนภูมิที่ 4.1 แสดงสรุปตารางการใช้งานของผู้พักอาศัย ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าในช่วงวันธรรมดา (จันทร์-ศุกร์).....	38
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงสรุปตารางการใช้งานของผู้พักอาศัย ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้าในช่วงวันวันหยุด (เสาร์-อาทิตย์) .....	38
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความต้องการไฟฟ้าภายในอาคาร.....	42
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิภายในอาคาร วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม).....	43
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคาร วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม).....	44
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิภายในอาคาร วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม).....	44
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคาร วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม).....	45
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิภายในอาคาร วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์).....	45
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคาร วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์).....	46
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิภายในอาคาร วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน).....	46
แผนภูมิที่ 4.11 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคาร วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน).....	47
แผนภูมิที่ 4.12 แสดงข้อมูลค่าระดับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนั่งเล่น.....	51
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงข้อมูลค่าระดับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนอน1.....	52
แผนภูมิที่ 4.14 แสดงข้อมูลค่าระดับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนอน2.....	53
แผนภูมิที่ 4.15 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารกรณีศึกษากับการคำนวณ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ห้องนั่งเล่น) .....	58
แผนภูมิที่ 4.16 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารกรณีศึกษากับการคำนวณ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ห้องนอน1).....	58
แผนภูมิที่ 4.17 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารกรณีศึกษากับการคำนวณ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ห้องนอน2).....	58
แผนภูมิที่ 5.1 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนั่งเล่น.....	61
แผนภูมิที่ 5.2 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน 1.....	62
แผนภูมิที่ 5.3 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน 2.....	63
แผนภูมิที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542).....	68











## สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 5.69 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน2 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม2542).....	105
แผนภูมิที่ 5.70 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542).....	106
แผนภูมิที่ 5.71 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน1 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542).....	106
แผนภูมิที่ 5.72 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน2 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542).....	106
แผนภูมิที่ 5.73 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนั่งเล่น อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542).....	107
แผนภูมิที่ 5.74 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน1 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542).....	107
แผนภูมิที่ 5.75 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน2 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542).....	108
แผนภูมิที่ 5.76 การเปรียบเทียบอัตราส่วนจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิภายในเข้าสู่สภาวะน่าสบาย จำแนกตามห้องและช่วงเวลาที่ใช้สอยพื้นที่ต่อปี.....	110
แผนภูมิที่ 5.77 การเปรียบเทียบอัตราส่วนจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิภายในเข้าสู่สภาวะน่าสบายตลอดปี.....	111

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

“บ้าน” ถือว่าเป็นหนึ่งในปัจจัยพื้นฐานที่มีความจำเป็นสำหรับมนุษย์ในทุกยุคทุกสมัย ซึ่งเป็นสิ่งที่สะท้อนให้เห็นถึงวัฒนธรรม สภาพเศรษฐกิจ ความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาการ และการจัดสรรทรัพยากรเข้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์ในยุคสมัยนั้นๆ ซึ่งในสถานการณ์ปัจจุบัน การพักอาศัยของประชากรในเขตชุมชนเมือง มีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ อาทิเช่น อาคารคอนโดมิเนียม อพาร์ทเมนต์ ทาวน์เฮาส์ บ้านเดี่ยว เป็นต้น และนับวันจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ประกอบกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ซึ่งมีอัตราที่สูงขึ้น และส่วนใหญ่เป็นผู้มีรายได้ปานกลางถึงค่อนข้างต่ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อให้เกิดปัญหาต่างๆตามมา ไม่ว่าจะเป็นเรื่อง สาธารณูปโภค สาธารณูปการ สุขอนามัย มาตรฐานการอยู่อาศัย ความไม่มั่นคงในการอยู่อาศัย เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ทำให้ระดับคุณภาพชีวิตต่ำลงทุกที ด้วยเหตุนี้รัฐบาลจึงได้ตระหนักถึงความสำคัญ และความจำเป็นเร่งด่วนในการแก้ไขปัญหาความไม่มั่นคงในการอยู่อาศัย เพื่อบรรเทาความเดือดร้อน และยกระดับคุณภาพชีวิตให้แก่ผู้ด้อยโอกาส กลุ่มผู้มีรายได้น้อย จึงได้มอบหมายให้กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ และกระทรวงการคลังร่วมดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยมีนโยบายให้การเคหะแห่งชาติ ดำเนินการสร้างที่อยู่อาศัยให้แก่ผู้มีรายได้น้อย รวมถึงข้าราชการชั้นผู้น้อย และพนักงานหน่วยงานของรัฐ ให้สามารถเช่าซื้อที่อยู่อาศัยเป็นของตนเองในราคาที่เหมาะสมแก่ฐานะเป็นจำนวนทั้งสิ้น 600,000 หน่วย ภายในระยะเวลา 5 ปี (2546-2550)

เพื่อเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงในการอยู่อาศัยให้แก่กลุ่มเป้าหมาย และตอบสนองนโยบายของรัฐดังกล่าว การเคหะแห่งชาติจึงได้ดำเนินการจัดทำ “โครงการบ้านเอื้ออาทร” จำนวนรวมทั้งสิ้น 601,272 หน่วย ซึ่งได้กำหนดทางเลือกของรูปแบบอาคารพักอาศัยใน 2 ลักษณะ เพื่อความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ และตามความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย สามารถจำแนกได้เป็น

1. อาคารชุดพักอาศัยสูง 5 ชั้น จำนวนร้อยละ 40 ของโครงการ แบ่งเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่
  - ห้องอเนกประสงค์ ขนาดประมาณ 24 ตารางเมตร
  - ห้องแบบ 1 ห้องนอน ขนาดประมาณ 33 ตารางเมตร
2. อาคารแนวราบ จำนวนร้อยละ 60 ของโครงการ ได้แก่
  - บ้านเดี่ยว 2 ชั้น บนที่ดินประมาณ 16-24 ตารางวา
  - บ้านแฝด 2 ชั้น บนที่ดินประมาณ 16-24 ตารางวา
  - บ้านแถว 2 ชั้น บนที่ดินประมาณ 16-24 ตารางวา

จากรูปแบบอาคารดังกล่าว การเคหะแห่งชาติจึงได้กำหนดให้ใช้กับชุมชนที่สามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ ตามพื้นที่ดังนี้

1. ชุมชนบ้านเอื้ออาทรในเขตเมือง เป็นชุมชนขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ประกอบด้วย ที่อยู่อาศัยรูปแบบอาคารชุดพักอาศัย ซึ่งเหมาะสำหรับกลุ่มเป้าหมายที่เป็นครอบครัวขนาดเล็ก

2. ชุมชนบ้านเอื้ออาทรในเขตชานเมือง เป็นชุมชนที่อยู่ห่างจากย่านศูนย์กลางเมืองและกระจายตัวอยู่ในย่านพักอาศัยแถบชานเมือง เป็นชุมชนขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ประกอบด้วยที่อยู่อาศัยหลากหลายรูปแบบ เหมาะสำหรับกลุ่มเป้าหมายที่เป็นครอบครัวขนาดกลางถึงขนาดใหญ่

ซึ่งการดำเนินงานโครงการบ้านเอื้ออาทร มีเป้าหมายเริ่มดำเนินการโครงการในทุกภูมิภาคทั่วประเทศ โดยมีระยะเวลาดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ.2546 – 2550 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงเป้าหมายโครงการบ้านเอื้ออาทร ปี พ.ศ. 2546-2550 หน่วย : หน่วย

ปี พื้นที่	2546 (ระยะ 1)	2546 (ระยะ 2)	2546 (ระยะ3/1)	2547 (ระยะ3/2)	2548 (ระยะ4)	2549 (ระยะ5)	2550 (ระยะ 6)	รวม ทั้งสิ้น
กทม./ปริมณฑล	3,535	3,637	15,000	96,000	120,000	120,000	120,000	478,172
ภูมิภาค	640	3,915	5,000	24,000	30,000	30,000	30,000	123,555
รวม	4,175 (0.7%)	7,552 (1.3%)	20,000 (3%)	120,000 (20%)	150,000 (25%)	150,000 (25%)	150,000 (25%)	601,727 (100%)
หมายเหตุ	กรม.อนุมัติ 14 มค.46		คณะรัฐมนตรีอนุมัติ 22 กรกฎาคม 2546					

หมายเหตุ เป็นเป้าหมายโดยประมาณการ และอาจปรับเปลี่ยนได้ตามปริมาณความต้องการของ กลุ่มเป้าหมาย

ที่มา : สำนักงานการเคหะแห่งชาติ

การเคหะแห่งชาติ ได้เสนอโครงการต่อคณะรัฐมนตรี และมีมติเห็นชอบโครงการบ้านเอื้ออาทรระยะ 3 เมื่อวันที่ 22 กรกฎาคม 2546 โดยในระยะนี้สามารถคิดจำนวนหน่วยที่ถูกจองพร้อมสร้างได้เป็นร้อยละ 25 ของโครงการ ซึ่งการเคหะแห่งชาติได้มีนโยบายในการประเมินผลการใช้อาคาร เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงรูปแบบอาคารในระยะที่ 4-6 ที่ซึ่งมีจำนวนหน่วยอีกร้อยละ 75 ของโครงการ อีกทั้งจากการพิจารณากำหนดจำนวนอาคารที่จะสร้างทั้งโครงการ สามารถจำแนกรูปแบบอาคารในแนวราบได้เป็นร้อยละ 60 ของทั้งโครงการ และผลสำรวจจากสถิติการเข้าจองอาคารในรอบแรก พบว่ารูปแบบบ้านพักอาศัยเดี่ยว 2 ชั้น ได้มีผู้เข้าจองจำนวนหนึ่งแสนราย ของผู้เข้าจองทั้งหมดสองแสนราย หรือคิดเป็นร้อยละ 50 ของผู้เข้าจองทั้งหมด

เนื่องด้วยการยกระดับคุณภาพชีวิตนั้น มิได้มีความหมายอยู่ที่เรื่องความมั่นคงของการอยู่อาศัยเพียงอย่างเดียว แต่ยังคงพิจารณาในเรื่องภายหลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จ และการพักอาศัยของประชากรตลอดอายุการใช้งานอาคาร ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของ อัตราการใช้พลังงานในขณะที่ใช้สอยอาคาร การสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคาร การจัดการประโยชน์ใช้สอยภายในอาคารที่เหมาะสมกับกิจกรรมที่เกิดขึ้น เมื่อเริ่มมีการใช้งานอาคาร เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะดำเนินการศึกษาวิจัย ประเมินผลและวิเคราะห์อาคารปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง พัฒนารูปแบบที่พักอาศัยเอื้ออาทร โดยคำนึงถึงปริมาณความต้องการที่เหมาะสมและต้นทุนโครงการต่ำสุด ให้เหมาะสมกับคุณภาพชีวิตของผู้พักอาศัยมากที่สุด เพื่อท้ายสุดจะได้นำผลวิจัยไปดำเนินการใช้กับโครงการบ้านเอื้ออาทรในระยะต่อไปและโครงการในรูปแบบเดียวกัน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาศักยภาพ ข้อจำกัด และวิเคราะห์สภาพปัญหาของสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานในการใช้สอยอาคาร
2. ศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการสร้างสภาวะน่าสบาย และมีผลต่ออัตราการใช้พลังงานในการใช้สอยอาคาร

3. ประเมินผล และวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและการใช้พลังงาน เพื่อนำไปสู่แนวทางแก้ไขปัญหา และพัฒนารูปแบบทางสถาปัตยกรรมสำหรับบ้านพักอาศัยเดี่ยว 2 ชั้น ในโครงการบ้านเอื้ออาทร
4. สรุปรูปแบบปรับปรุงบ้านเอื้ออาทร ที่ก่อให้เกิดสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานที่เหมาะสม มีประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษารูปแบบอาคารที่เกิดขึ้นในโครงการบ้านเอื้ออาทร เฉพาะประเภทบ้านพักอาศัยเดี่ยว 2 ชั้น ที่สร้างในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลเท่านั้น
2. พิจารณาตัวแปรที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบาย และการใช้พลังงานเฉพาะช่วงการใช้สอยอาคาร
3. พิจารณาแนวทางการปรับปรุงวัสดุและส่วนประกอบอาคาร พร้อมทั้งเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงาน ในการสร้างสภาวะน่าสบาย ที่มีความเหมาะสมกับบ้านพักอาศัยราคาประหยัดที่ไม่มีการปรับอากาศ
4. การวิจัยในครั้งนี้ จะไม่พิจารณาถึงการสร้างสภาวะน่าสบายจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคาร อันเกิดจากลักษณะการจัดวางผังบริเวณโดยรวม ภูมิสถาปัตยกรรม และอาคารแวดล้อม

### 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎี หลักการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย โดยมุ่งเน้นถึงองค์ประกอบหลักที่มีผลต่อการสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคาร พร้อมทั้งประมวลผลการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย
2. สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลและสภาพปัญหา ที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบอาคาร การสร้างสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงาน ภายในอาคารประเภทบ้านพักอาศัยเดี่ยว 2 ชั้น ในโครงการบ้านเอื้ออาทร
3. วิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ทางด้านการสร้างสภาวะน่าสบาย และการใช้พลังงาน พร้อมทั้งประเมินผลสภาพปัญหาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เปรียบเทียบกับข้อมูลจริง (Calibrated Building Energy Simulation) และศึกษาแนวคิดและแนวทางการแก้ไขจากงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม
4. เสนอแนะแนวทางการแก้ปัญหาและสร้างแนวทางเลือก โดยคำนึงถึงการสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคาร อัตราการใช้พลังงานในการใช้สอยอาคาร และอัตราค่าก่อสร้าง พร้อมทั้งเปรียบเทียบประเมินผลกับแนวทางการปรับปรุงในรูปแบบต่างๆ
5. สรุปผลและเสนอแนะแนวทางการวิจัย โดยสรุปรูปแบบอาคารที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นมาตรฐานสำหรับบ้านพักอาศัยเดี่ยว 2 ชั้น ภายในโครงการ “บ้านเอื้ออาทร”

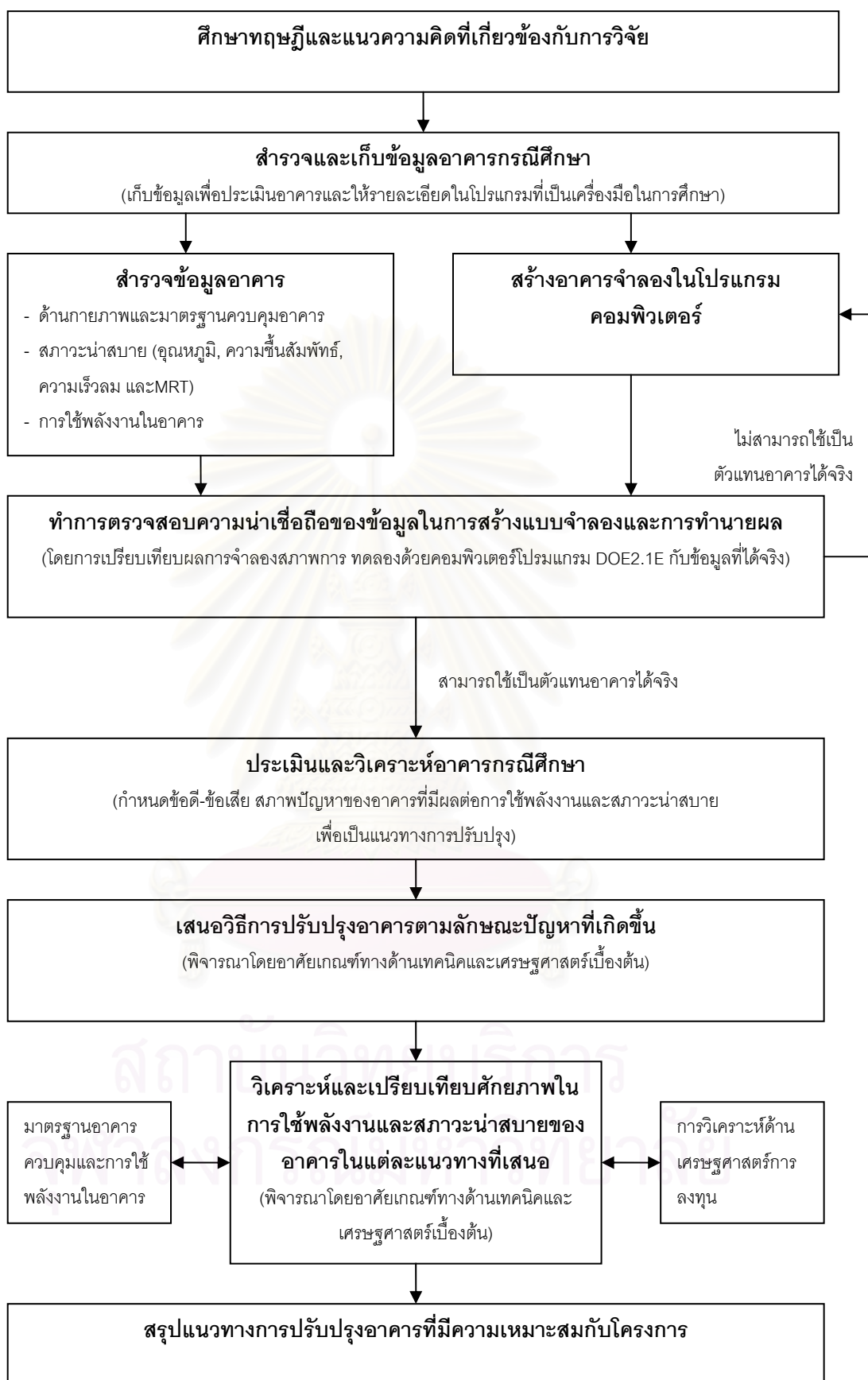
### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. เพิ่มพูนข้อมูลในการศึกษาในเรื่องของ บ้านพักอาศัยที่มีอัตราค่าก่อสร้างต่ำ และเหมาะสมกับสภาพอากาศในเขตร้อนชื้น
2. เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ออกแบบในการออกแบบบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก โดยการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้กับอาคารอย่างมีประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงความสะดวกสบายของผู้ใช้อาคาร
3. เป็นแนวทางในการนำไปใช้ออกแบบอาคารในโครงการบ้านเอื้ออาทร ให้มีประสิทธิภาพในการสร้างสภาวะน่าสบาย และการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในต้นทุนที่ต่ำสุด



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





แผนภูมิที่ 1.1 แสดงระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎี และแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

#### 2.1 แนวทางในการศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร (Energy Audit)

เพื่อเป็นการศึกษาถึงสภาพลักษณะการใช้พลังงานและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นกับอาคารที่ต้องการศึกษา เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการแก้ไข ปรับปรุงให้เกิดการใช้พลังงานภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนดำเนินการศึกษาดังต่อไปนี้

##### 2.1.1 การศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร

Asian Development Bank กล่าวว่า การศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร คือ การศึกษาเบื้องต้นถึงการใช้พลังงานที่จำแนกตามระบบและประเภทของการใช้พลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา เพื่อเป็นการยืนยันว่าอาคารนั้นๆ มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด และเพื่อหาแนวทางในการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญดังนี้ (Asian Development, 1997)

1. ระบุหรือกำหนดได้ว่า อาคารที่ต้องการศึกษามีการใช้พลังงานที่ส่วนใด ใช้ ณ ช่วงเวลาใดและใช้พลังงานอย่างไร
2. สามารถกำหนดแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา
3. ทราบประสิทธิผลของการใช้พลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา
4. ทราบลักษณะการจัดการในด้านพลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา

มีวิธีศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคารแยกเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

#### ขั้นที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคารที่มีการเก็บบันทึกไว้

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลอาคารที่มีการเก็บบันทึกไว้ในด้านการใช้พลังงาน โดยทั่วไปจะใช้ข้อมูลที่มีการเก็บย้อนหลังไปอย่างน้อย 1 ปี โดยทำการวิเคราะห์ เพื่อกำหนดแนวโน้มของรูปแบบการใช้พลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา เพื่อประเมินค่าการใช้พลังงานต่อตารางเมตร (evaluate energy use indices) เพื่อให้ทราบว่าระบบประกอบอาคารส่วนใดที่ด้อยประสิทธิภาพในการใช้พลังงานทั้งในตัวระบบที่เลือกใช้ และวิธีการในการดำเนินงานของระบบนั้นๆ

ข้อมูลที่ต้องการเพื่อการวิเคราะห์ในขั้นที่ 1

1. ข้อมูลค่าไฟฟ้าย้อนหลัง หรือ ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง
2. ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (weather data) ณ ช่วงเวลาที่พิจารณา
3. ข้อมูลการใช้งานอาคาร และจำนวนผู้ใช้อาคาร

แนวทางในการวิเคราะห์ในขั้นที่ 1

1. ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานแต่ละชนิด กับค่าใช้จ่ายแยกตามชนิดของพลังงานที่ใช้ในอาคาร ไม่ว่าจะเป็นพลังงานไฟฟ้า, ก๊าซ, น้ำมัน เป็นต้น
2. หากมีข้อมูลที่เพียงพอควรนำข้อมูลการใช้พลังงานรายปีแต่ละปีมาเปรียบเทียบเพื่อประมาณการแนวโน้มในการใช้พลังงานในแต่ละปีว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร

3. ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะสภาพภูมิอากาศมีความสัมพันธ์ต่อการใช้พลังงานในแต่ละช่วง เวลาที่ทำการพิจารณาอย่างไร และวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ลักษณะการใช้พลังงานในอาคารเป็นเช่นนั้น
4. ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการใช้พลังงานกับจำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละช่วงเวลาว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่
5. วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารที่พิจารณา (กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร)

### ขั้นที่ 2 การสำรวจอาคาร เพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงที่เป็นไปได้

เป็นขั้นตอนที่ควรกระทำก่อนที่จะใช้เวลา และเงินทุนไปเพื่อการทดสอบแนวทางในการใช้พลังงานในด้านหนึ่งโดยเฉพาะ ในขั้นตอนนี้ 2 นี้ จะเป็นการเข้าไปสำรวจอาคารเพื่อพิจารณาหาอัตราส่วนในการใช้พลังงานในอาคารว่ามีการใช้พลังงานมากที่สุดในกิจกรรมหรือกระบวนการใด พิจารณาว่าการใช้พลังงานในส่วนใดที่มีการใช้เปลี่ยนแปลงและด้อยประสิทธิภาพ และจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่และการจัดระบบภายในอาคารเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาโดยละเอียดต่อไป

#### ข้อมูลที่ต้องการเพื่อการวิเคราะห์ในขั้นที่ 2

1. รูปแบบอาคารที่ทำการออกแบบและงานระบบที่ใช้ในอาคารทุกระบบ
2. อุปกรณ์และเครื่องกลที่ใช้งานในอาคาร
3. การพิจารณาประสิทธิภาพของงานระบบที่ใช้ในอาคาร เพื่อศึกษาความสัมพันธ์กับลักษณะอาคารที่มีการออกแบบเดิมไว้หรือไม่อย่างไร

#### แนวทางในการวิเคราะห์ในขั้นที่ 2

1. ทำการวิเคราะห์จำแนกข้อมูลการใช้พลังงานตามประเภทการใช้พลังงาน (energy use and cost break down) โดยพิจารณาเป็นอัตราส่วนการใช้งาน
2. วิเคราะห์ข้อมูลด้านประสิทธิภาพของเครื่องกลและงานระบบ พิจารณาข้อดี/ข้อเสียของงานระบบ และเปรียบเทียบผลที่คาดว่าจะได้รับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงงานระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการคำนวณเปรียบเทียบด้านอัตราการใช้พลังงาน ความคุ้มทุน เป็นหลัก

### ขั้นที่ 3 การศึกษาโดยละเอียด ประเมินแนวทางและความเป็นไปได้ในการปรับปรุงในด้านเทคนิค และด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

เป็นการศึกษาเพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งจะต้องอาศัยข้อมูลละเอียดประกอบการพิจารณา

#### ข้อมูลที่ต้องการเพื่อการวิเคราะห์ในขั้นที่ 3

1. ปริมาณพลังงาน โดยละเอียดที่ใช้ในอุปกรณ์แต่ละชนิด งานระบบ ภายในอาคารและสภาพภายในอาคารตามความเป็นจริง ซึ่งได้มาจากการเข้าไปทำการวัดการใช้พลังงานจริง เช่น การติดตั้งมิเตอร์วัด การวัดอุณหภูมิ การวัดความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร
2. ข้อมูลด้านการลงทุนและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ณ ปัจจุบัน และ ค่าใช้จ่ายในกรณีที่มีการปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารในแต่ละแนวทาง

3. ค่าใช้จ่ายที่ลดลงอันได้จากการปรับปรุงอาคาร ในกรณีนี้ข้อมูลจะได้มาจากการคำนวณหรือการจำลองสภาพการใช้งานอาคารด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ อาทิ DOE, BLAST, ENERWIN เป็นต้น

#### แนวทางในการวิเคราะห์ในขั้นที่ 3

1. ประมาณค่าใช้จ่ายที่เป็นไปได้เมื่อมีการปรับปรุงอาคารในแต่ละแนวทางเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน
2. เปรียบเทียบการใช้พลังงานในแนวทางการปรับปรุงอาคารแต่ละแนวทางกับการใช้พลังงานในอาคารเดิมก่อนทำการปรับปรุง โดยพิจารณาจากอัตราการคืนทุนเบื้องต้น และวงจรต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุง

#### 2.1.2 แนวทางในการสำรวจอาคารเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

จากหนังสือ Retrofitting of Building For Energy Conservation ได้เสนอแนวทางในการสำรวจอาคารดังนี้ (Retrofitting of Building For Energy Conservation, 1984)

1. การสำรวจเก็บข้อมูลของระบบเปลือกอาคาร ได้แก่การเก็บข้อมูลด้าน
  - 1.1 การสำรวจลักษณะทางกายภาพของตัวอาคาร
    - ประเภทของโครงสร้างอาคาร
    - ขนาดของอาคาร
    - ทิศทางและแนวแกนของอาคาร
    - วัสดุก่อสร้างอาคาร
    - ขนาดพื้นที่ช่องแสงในอาคาร
    - ลักษณะการกันแดดให้ตัวอาคาร
  - 1.2 พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร
  - 1.3 การกำหนดตำแหน่งของห้องต่างๆในอาคาร
2. การสำรวจเก็บข้อมูลงานระบบในอาคาร ได้แก่การรวบรวมข้อมูล
  - 2.1 ประเภทของระบบเครื่องกลที่ใช้ในอาคาร
  - 2.2 ปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในเครื่องกลแต่ละชนิด ได้จากการศึกษาแบบติดตั้งเครื่องกล หรือเก็บข้อมูลจากตัวเครื่อง
  - 2.3 ระบบแสงสว่าง
    - กำหนดตำแหน่งดวงโคม ชนิด และขนาดของดวงโคมที่ใช้ในอาคาร
    - เก็บข้อมูลวงจรในการเปิด/ปิด ดวงโคมและตำแหน่งสวิตช์ไฟฟ้าในอาคาร
    - เก็บข้อมูลระดับความส่องสว่างในอาคาร
    - พิจารณาลักษณะการใช้งานในแต่ละพื้นที่ที่มีการติดตั้งดวงโคม
    - เก็บข้อมูลตารางการใช้งานระบบแสงสว่างในแต่ละห้อง
3. การสำรวจเก็บข้อมูลลักษณะการใช้งานของผู้ใช้อาคาร
  - 3.1 เก็บข้อมูลตารางการทำงานของผู้ใช้อาคาร
  - 3.2 พิจารณาจำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละช่วงเวลา
4. การสำรวจเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร

- 4.1 เก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารแยกแต่ละกิจกรรม
- 4.2 เก็บข้อมูลตารางการเปิด/ปิด หรือตารางการทำงานของระบบปรับอากาศ  
วิธีการปรับอากาศในแต่ละช่วงของปี ตารางและวิธีการดูแลรักษาเครื่อง
5. การสำรวจเก็บข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในอาคาร
6. การสำรวจเก็บข้อมูล utility ได้แก่ ข้อมูลการใช้พลังงานที่ผ่านมาทั้งปริมาณ ค่าใช้จ่าย  
และความต้องการใช้พลังงานในอาคาร ข้อมูลประเภทของพลังงานที่มีการใช้งานใน  
อาคาร (สำหรับประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานไฟฟ้า)
7. การสำรวจเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

### 2.1.3 ข้อจำกัดในการศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร ด้วยการจำลองสภาพในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Program)

จากหนังสือ Retrofitting of Building For Energy Conservation สามารถสรุปข้อจำกัดได้ดังนี้ (Retrofitting of Building For Energy Conservation, 1984: p 158-160)

1. การพิจารณาผลกระทบในระยะยาวของ การปรับปรุงตัวอาคารหรือวิธีการจัดการที่ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงมาก ค่าที่ได้จากการประเมินอาจไม่ตรงตามค่าที่เกิดขึ้นจริง
2. ข้อมูลที่นำมาใส่ในโปรแกรมอาจจะได้มาจากข้อมูลที่ไม่ตรงตามความเป็นจริง ทั้งข้อมูลตัวอาคารเช่นการใช้ข้อมูลที่ได้จากคู่มือวัสดุอาจมีค่าที่สูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริงเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ ข้อมูลอุณหภูมิ และข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมของอาคาร โดยทั่วไปมักจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากอาคารจริงประมาณ 10-15 % สำหรับการใส่โปรแกรม DOE, BLAST, TRACE
3. การพิจารณาวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงอาคารหลายวิธีร่วมกันอาจไม่ได้รับผลได้อย่างเต็มที่ เช่น หากผู้ออกแบบเลือกวิธีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร 2 วิธีที่ประเมินเบื้องต้นว่า แต่ละวิธีสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ร้อยละ 10 % แต่เมื่อนำมาใช้ร่วมกันอาจเพิ่มประสิทธิภาพได้ไม่ถึง 20 % ก็ได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ประเมินได้ยาก

## 2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ความรู้สึกร้อนหนาว หรือสภาวะน่าสบายของคน เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ได้แก่ ปัจจัยด้านกายภาพและเศรษฐศาสตร์

### 2.2.1 ปัจจัยเชิงกายภาพ ได้แก่ ปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน รายละเอียดมีดังนี้

#### 2.2.1.1 ปัจจัยภายนอก

##### ก) อุณหภูมิอากาศ

อุณหภูมิอากาศเป็นมาตรวัดสภาวะน่าสบายขั้นพื้นฐาน โดยข้อมูลเบื้องต้นที่ควรคำนึงถึง ได้แก่

ตารางที่ 2.1 แสดงปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในเรื่องสภาวะน่าสบายขั้นพื้นฐานของอุณหภูมิอากาศ

ปัจจัยที่ควรคำนึงถึง	รายละเอียด
1. annual curve	- อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละเดือน - ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของวัน - อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่บันทึก
2. diurnal temperature swing	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิช่วงเวลากลางวันและกลางคืน
3. heat - cooling degree days	บอกระยะเวลาของ Ambient Temperature ที่อยู่นอกสภาวะน่าสบาย และช่วยประมาณภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศได้
4. bin data	ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ ความเร็วและทิศทางลม โดยสรุปเป็นจำนวน ชั่วโมงเฉลี่ยที่อยู่ในสภาวะน่าสบายในทุกๆ 5 องศาเซลเซียส

ที่มา : Energy in Design Technique, 1982

**ข) ปริมาณความชื้น**

ความชื้น คือ ปริมาณความชื้นที่อยู่ในอากาศ สามารถวัดออกมาใน 2 รูปแบบ คือ

- 1) absolute humidity ปริมาณของน้ำที่อยู่ในอากาศโดยคิดจากอัตราส่วน น้ำหนักของน้ำในอากาศต่อน้ำหนักของอากาศ (ปอนด์)
- 2) relative humidity อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำในอากาศขึ้นอยู่กับ ปริมาณไอน้ำอิ่มตัว ปริมาณสัดส่วนสูงสุดของไอน้ำที่สามารถคงอยู่ได้ในอากาศที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ก่อนจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำจะถือว่ามีความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 100%

ความชื้น มีผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายโดยตรง เนื่องจากความชื้นในอากาศมีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาว เมื่อค่าความชื้นสูงมากๆ จะทำให้ร่างกายไม่สามารถระบายความร้อนด้วยการระเหยเหงื่อได้ ทำให้เกิดสภาวะไม่สบาย อีกทั้งยังช่วยในการเจริญเติบโตของรา และตะไคร่ เป็นต้น ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 20-80 % (ธนิศ จินดาวณิก, 2540)

**ค) ปริมาณรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์**

ดวงอาทิตย์มีผลกระทบต่ออาคารและที่ตั้ง 2 ประการ คือ พลังงานดวงอาทิตย์ที่ตกลงมาบนพื้นที่ตั้งและทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ในที่ตั้งโครงการ

การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ประกอบด้วย

- 1) รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งการแผ่รังสีโดยตรงมาก แต่ร่มเงาบังแดดนั้น มากเช่นกัน
- 2) รังสีที่กระจายจากท้องฟ้าที่สะท้อนจากเมฆและฝุ่นละอองในอากาศ มีปริมาณสูง 0-90 % ของปริมาณพลังงานจากดวงอาทิตย์โดยรวมที่มาสู่อาคาร
- 3) รังสีที่สะท้อนจากพื้นดินและอาคารข้างเคียงซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ทิศทาง สี ลักษณะพื้นผิว ฯลฯ

ปริมาณพลังงานความร้อนที่โลกได้รับมีค่าประมาณ 42 BTU/sq.ft.hr เมื่อพระอาทิตย์อยู่ตรงเหนือศีรษะและตกผ่านชั้นบรรยากาศที่บางที่สุด

### ง) ปริมาณ ทิศทางและความเร็วลม

ผู้ออกแบบสามารถใช้ลมช่วยในการปรับและควบคุมภาวะน่าสบายได้ โดยอาศัยข้อมูลดังนี้

- 1) ทิศทางของกระแสลมที่เกิดขึ้น
- 2) ความเร็วลม และความถี่ในการพัดผ่าน

ข้อมูลดังกล่าวแสดงใน wind rose ซึ่งจะช่วยให้ผู้ออกแบบเห็นภาพรวมของการใช้ประโยชน์จากกระแสลม โดยกำหนดความเร็วลมที่ใช้ในการปรับเข้าสู่ภาวะน่าสบายต้องไม่น้อยกว่า 5 ไมล์/ชั่วโมง (8 กิโลเมตร/ชั่วโมง)

ตารางที่ 2.2 ความเร็วลมที่เคลื่อนที่เพื่อสร้างสภาวะที่พอเหมาะอยู่ระหว่าง 10-15 ฟุตต่อนาที

ความเร็วลมภายในห้องและสภาวะน่าสบาย		
ความเร็วลม (fpm)	ความเป็นไปได้ของความรู้สึกอุณหภูมิที่ลดลง	ผลที่อาจเกิดขึ้น
0-50	ไม่มีความเปลี่ยนแปลงในความรู้สึกน่าสบาย	ไม่สามารถสังเกตได้
50-100	ต่ำลง 2-3 ° F	สบาย
100-200	ต่ำลง 4-5 ° F	โดยทั่วไปรู้สึกสบายแต่รับรู้ว่ามีลมเคลื่อนไหวของอากาศ
200-300	ต่ำลง 5-7 ° F	รู้สึกมีลมพัดเล็กน้อยจนถึงรู้สึกถูกรบกวนได้
สูงกว่า 300	ต่ำลง 5-7 ° F	ต้องการแก้ไขที่ถูกต้อง

### จ) ลักษณะรูปร่างที่ตั้งโครงการ

ลักษณะรูปร่างมีผลต่อ microclimate เนื่องจากอุณหภูมิอากาศจะเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงของที่ตั้งจากระดับน้ำทะเลและมีผลต่อการเคลื่อนตัวของอากาศที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของกระแสลมท้องถิ่นนั่นเอง

### ฉ) ต้นไม้และพืชพันธุ์ต่างๆ

- 1) ช่วยลดอุณหภูมิโดยการดูดซับปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิผิวอาคาร เนื่องจากการบังเงา
- 2) มวลต้นไม้ขนาดใหญ่สามารถเปลี่ยนทิศทางของกระแสลม ลด-เพิ่มความเร็วลม
- 3) การควบคุมผลกระทบด้านความร้อนที่ได้รับจากแสงแดด

### ช) แหล่งน้ำ

เนื่องจากน้ำมีค่า specific heat สูงทำให้บริเวณที่ตั้งรอบๆแหล่งน้ำมีอุณหภูมิเย็นกว่าปกติ และช่วยลดการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิที่ขึ้นสูงสุดและต่ำสุด ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า “evaporative cooling”

### 2.2.1.2 ปัจจัยภายใน

ตัวอาคารและระบบอาคาร (building and systems) หมายถึง กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับอาคารและระบบของอาคาร ตัวแปรในกลุ่มนี้ ได้แก่ ระบบเปลือกอาคาร ระบบโครงสร้าง ระบบเครื่องกล ฯลฯ ในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานนั้นผู้ออกแบบต้องแสวงหารูปแบบอาคารและงานระบบต่างๆ ที่สอดคล้องกัน เพื่อให้ได้มาซึ่งอาคารที่ใช้พลังงานน้อยในทุกๆ ด้าน

การพิจารณาความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร จากแหล่งต่างๆ ดังนี้

- การนำความร้อนของผนังทึบ และการแผ่รังสีความร้อนของผนังกระจก
- ผู้ใช้อาคารและการใช้งาน (user and operation) หมายถึง กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับผู้ใช้อาคารและการควบคุมอาคาร ตัวแปรในกลุ่มนี้ ได้แก่ ประเภทของผู้ใช้อาคาร รูปแบบการใช้งานหรือลักษณะของกิจกรรมต่างๆ กิจกรรมของผู้ใช้อาคาร ได้แก่ ความต้องการด้านการระบายอากาศ ความต้องการระดับการส่องสว่าง ความเป็นไปได้ในการจัดกลุ่มกิจกรรม เป็นต้น ตลอดจนตารางการใช้งาน และการควบคุมระบบต่างๆ ในอาคาร
- ระบบการส่องสว่างจากแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์
- อุปกรณ์ประกอบอาคารประเภทต่างๆ เช่น มอเตอร์ HVAC ปัมป์ชนิดต่างๆ เป็นต้น
- การระบายอากาศและการรั่วซึมของอากาศ

### 2.2.2 ปัจจัยเชิงเศรษฐศาสตร์

คือ การศึกษาเปรียบเทียบแนวทางการปรับปรุงอาคารในแต่ละแนวทางเลือก ครอบคลุมความเหมาะสมในการลงทุน เพื่อพิจารณาทางเลือกที่ให้ผลประโยชน์สูงสุดในการลงทุน โดยทำการศึกษาในเรื่องของ cost effective และระยะเวลาคืนทุน

## 2.3 สภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort)

สภาพแวดล้อมทางกายภาพนั้น ประกอบไปด้วยปัจจัยหลายปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันอันได้แก่ แสงสว่าง เสียง บรรยากาศ บริเวณพื้นที่ใช้สอย เป็นต้น ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับมนุษย์ ส่งผลกระทบทั้งทางร่างกายและจิตใจให้เกิดการดิ้นรนเพื่อสร้างความสมดุลทางชีวภาพ และเพื่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุดเพื่อปรับสภาพตนเองให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม สภาวะเช่นนี้เราเรียกว่า สภาวะน่าสบาย

เขตสบาย (comfort zone) เป็นขอบเขตของสภาพอากาศในช่วงเวลาหนึ่งที่ทำให้ร่างกายมนุษย์อยู่ในสภาวะที่เกิดความสบาย ซึ่งหมายความว่า สภาวะที่อากาศมีอุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นในอากาศที่พอเหมาะที่จะทำให้ง่ายแก่ความรู้สึกสบาย ไม่ร้อนหรือหนาวจนเกินไป ร่างกายไม่มีเหงื่อ มีปริมาณไอน้ำในอากาศที่พอเหมาะจนไม่เกิดความชื้นหรือแห้งจนเกินไป อัตราความเร็วลมอยู่ในเกณฑ์ที่พอเหมาะ ไม่ก่อให้เกิดการรบกวน

สภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ หรือ thermal comfort นั้น ได้มีผู้ศึกษาและเสนอแนวคิดไว้มากมาย อาทิเช่น Reynolda และ Stein ได้ให้คำจำกัดความไว้ในหนังสือ Mechanical and Electrical Equipment for Building ไว้ดังนี้ “สภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิอาจหมายถึง การที่มนุษย์ไม่รู้สึกอยู่ในสภาวะไม่สบาย



หรือไม่รู้สึกตัวเองว่าได้สูญเสียความร้อน หรือได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อม เป็นสภาวะที่สมดุลทางอุณหภูมิจึงหรือระหว่างร่างกายกับสภาวะแวดล้อม” (Reynolda and Stein, 1992: 36)

สภาวะนำสบายทางด้านอุณหภูมินั้นเป็นสิ่งที่เกิดจากความพึงพอใจส่วนบุคคล โดยจะมีความแตกต่างกันไปตามความคุ้นเคย ความชอบ วัฒนธรรม ลักษณะทางกายภาพและจิตใจของแต่ละบุคคล ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อสภาวะนำสบายทางด้านอุณหภูมิมียู่ด้วยกัน 6 ตัวแปร ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น

ตัวแปรทางด้านบุคคล 2 ตัวแปร

- อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolic Rate)
- เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-value)

ตัวแปรที่ด้านสภาพแวดล้อม

- อุณหภูมิอากาศ (air temperature)
- อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (mean radiant temperature : MRT)
- ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity)
- ความเร็วลม (air velocity)

### 2.3.1 อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolic Rate)

พลังงานของมนุษย์ทั้งหมดได้มาจากการบริโภคและย่อยอาหาร ที่มนุษย์รับประทานเข้าไป กระบวนการเปลี่ยนอาหารต่างๆนี้ให้เป็นรูปของพลังงานสำหรับร่างกายคนเรานั้นเรียกว่า “metabolism” โดยที่ร่างกายของมนุษย์จะนำพลังงานที่ได้จากการเผาผลาญอาหารนี้ไปผลิตความร้อนออกมาอย่างต่อเนื่องในกิจกรรมต่างๆ เช่น การเดิน การนั่ง การออกกำลังกาย ล้วนทำให้เกิดความร้อนภายในร่างกาย โดยร่างกายของมนุษย์จะมีอุณหภูมิอยู่ที่  $37^{\circ}\text{C}$  ( $98.6^{\circ}\text{F}$ ) และต้องรักษาระดับอุณหภูมิภายในร่างกายให้คงที่ เพื่อให้ร่างกายอยู่ในสภาวะสมดุล ร่างกายจะใช้พลังงานที่ได้มาจากการเผาผลาญอาหารเพียงร้อยละ 20 ความร้อนส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 80 ร่างกายจะขับออกไปสู่สภาพแวดล้อม ดังนั้นร่างกายจำเป็นจะต้องมีการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนกับสิ่งแวดล้อมภายนอกอยู่ตลอดเวลา เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายให้คงที่ ถ้าร่างกายผลิตความร้อนมากกว่าความร้อนที่ร่างกายสูญเสียความรู้สึกไม่สบายก็จะเกิดขึ้น ร่างกายจะรู้สึกร้อน ในทางกลับกันถ้าอัตราการสูญเสียความร้อนของร่างกายมากกว่าอัตราการผลิตและได้รับความร้อนมา อุณหภูมิร่างกายจะลดลง ร่างกายจะรู้สึกหนาว

อัตราที่ร่างกายมนุษย์เราผลิตความร้อนออกมาส่วนมากขึ้นอยู่กับระดับของกิจกรรมของร่างกาย ชนิดของอาหารและเครื่องดื่มที่มนุษย์ได้บริโภคเข้าไป และบางสภาวะก็ขึ้นอยู่กับสถานที่ที่มนุษย์ใช้ดำรงชีวิตประจำวัน ความร้อนที่ร่างกายมนุษย์เราผลิตออกมาถูกวัดเป็น metabolic หรือหน่วย Met โดยที่ 1 Met จะเท่ากับ  $58.2\text{ W/m}^2$  หรือ  $18.4\text{ Btu/h ft}^2$  ในลักษณะที่คนเรานั่งพัก เป็นพลังงานที่ผลิตขึ้นมาต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยเฉลี่ยสำหรับผู้ใหญ่ทั่วไป พลังงานความร้อนที่ผลิตออกมาประมาณ  $117\text{ W}$  หรือ  $400\text{ Btu/h}$  ยิ่งร่างกายมีกิจกรรมมากความร้อนที่ร่างกายผลิตออกมายิ่งมากตาม

ตารางที่ 2.3 แสดง metabolic rate ในกิจกรรมต่างๆ

ระดับกิจกรรม	Metabolic Rate (Met)	Btu/h ft <sup>2</sup>
นอนพักผ่อน	0.7	13
นั่งพัก	1.0	18
ยืนพัก	1.2	22
เดิน (1.34 ม./วินาที)	2.6	48
นั่งอ่านหนังสือ, เขียนหนังสือ	1.0	18
ขับรถ	1.0 - 2.0	18 - 37
ขับรถบรรทุก	3.2	59
ทำอาหาร	1.6 - 2.0	29 - 37
ทำความสะอาด, ทำงานบ้าน	2.0 - 3.4	37 - 63
งานคุมเครื่องจักรขนาดใหญ่	4.0	74
เดินรำ	2.4 - 4.4	44 - 81
บาสเกตบอล	5.0 - 7.6	90 - 140
กีฬาว่ายน้ำหนัก	7.0 - 8.7	130 - 160

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building, 8<sup>th</sup> Edition, p.35

### 2.3.2 เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-Value)

เสื้อผ้าที่สวมใส่นั้น มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของร่างกายไปสู่สภาพแวดล้อมโดยรอบตัว ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าที่สวมใส่ ถูกวัดเป็น Clo units ค่า 1 Clo จะประมาณเทียบเท่ากับชุดสูททำงาน โดยทั่วไปของชาวอเมริกันในปี 1941

ตารางที่ 2.4 แสดงค่า Clo ของเครื่องแต่งกายแบบต่างๆ

ลักษณะการแต่งกาย	ค่า Clo
กางเกงขาสั้น + เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.41
กางเกงขายาว + เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.50
กางเกงขายาว + เสื้อแขนยาว	0.62
กางเกงขายาว + เสื้อแขนยาว + เสื้อแจ็กเกต	0.96
เสื้อยืด + เสื้อแขนยาว + กางเกงหลวมขายาว + เสื้อสเวตเตอร์แขนยาว	1.01
กระโปรงยาวถึงเข่า + เสื้อเชิ้ตแขนสั้น + รองเท้าแตะ	0.54
กระโปรงยาวถึงเข่า + เสื้อเชิ้ตแขนยาว + สลิปแบบเต็มตัว + รองเท้าแตะ	.067
กระโปรงยาวถึงข้อเท้า + เสื้อเชิ้ตแขนยาว + สลิปแบบเต็มตัว + ชุดสูท	1.10

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building, 8<sup>th</sup> Edition, p.37

เสื้อผ้าที่สวมใส่มีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาวค่อนข้างมาก สำหรับประเทศไทยนั้น เราควรปรับสภาพการแต่งกายให้เหมาะสมกับภูมิอากาศของประเทศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงเกือบตลอดทั้งปี เสื้อผ้าที่มีลักษณะบางเบาสวมใสน้อยชิ้น ไม่ห่อหุ้มมิดชิดหมดทั้งตัวจะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้สะดวกและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสเพื่อกระตุ้นการระเหยของเหงื่อที่ผิวหนังได้ดี ทำให้ร่างกายรู้สึกเย็นสบาย

### 2.3.3 อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)

อุณหภูมิอากาศโดยรอบเป็นตัวหลักในการบ่งบอกถึง thermal comfort ช่วงที่อุณหภูมิอากาศที่อยู่ใน thermal comfort จะอยู่ประมาณ 20 °C (98.6 °F) ถึง 26.6 °C (80 °F) ถ้าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าช่วงนี้ การทำความร้อนหรือการทำความเย็น มีความจำเป็นเพื่อให้อยู่ในสภาพ thermal comfort นอกจากนี้อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม จะมีผลสามารถช่วยส่งเสริม thermal comfort ให้ดีขึ้นหรือแย่ลงได้ (ช่วงของอุณหภูมิอากาศที่อยู่ในสภาวะน่าสบายนี้ อาจจะมีการกำหนดค่าที่แตกต่างกันออกไป เช่น ASHRAE กำหนดให้ช่วงอุณหภูมิ 72-79 °F (22.2-26.1 °C) เป็นช่วงสภาวะสบาย)

### 2.3.4 อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature : MRT)

อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบนั้น จะวัดจากค่าถ่วงเฉลี่ยของรังสีความร้อนที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งรวมถึงแสงแดดโดยตรงด้วย อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (MRT) สามารถคำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวของด้านต่างๆในห้องและตำแหน่งที่วัด MRT นั้น โดยใช้มุมกระทำ (solid angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งที่วัดและขอบเขตของแต่ละพื้นผิวโดยหาค่าเฉลี่ยออกมาเป็น MRT อย่างไรก็ตามผลของอุณหภูมิพื้นผิวที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายและการที่จะสามารถวัดออกมาได้นั้นจะใช้ในรูปของ operative temperature โดยมีค่า operative temperature นั้นจะเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศในห้อง และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิพื้นผิวต่างๆ ในห้องนั้น (MRT) ในการวัดจะใช้ globe thermometer โดยใช้ลูกโลหะทองแดงกลมทาสีดำด้าน เจาะรูเล็กๆ และใช้เทอร์โมมิเตอร์สอดเข้าไปให้อยู่กึ่งกลางของลูกโลหะกลม เทอร์โมมิเตอร์นี้จะอ่านค่า Operative Temperature

MRT มีผลต่อ temperature comfort มากกว่าอุณหภูมิอากาศถึงร้อยละ 40 นั่นคือถ้าอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น 1.4 °C และ MRT ลดลง 1 °C ความรู้สึกร้อนหนาวจะยังคงเหมือนเดิม ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ค่าของ MRT นั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิพื้นผิว (surface temperature) และมุมกระทำ (angle factor) MRT เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ด้านความรู้สึกของมนุษย์ ดังนั้นในการวัด MRT จึงเป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อนและทำการวัดได้ยาก โดยการหา MRT จะมีวิธีการดังนี้

การคำนวณโดยใช้ค่าอุณหภูมิพื้นผิวและมุมกระทำ

$$MRT = T_1 F_{P-N} + T_2 F_{P-2} + \dots + T_N F_{P-N}$$

สมการข้างต้นเป็นการหาค่า MRT ในห้องที่มี N พื้นผิว โดยที่

- MRT = Mean Radiant Temperature
- TN = อุณหภูมิผิวของวัสดุ (Surface Temperature)
- FP-N = มุมที่เปิดรับกับพื้นผิว ณ จุดที่ทำการวัด  
(Angle Factor between Person and Surface)

### 2.3.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึงสัดส่วนของความชื้นในอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสูงสุดที่อากาศสามารถมีความชื้นได้โดยปราศจากการกลั่นตัวเองเป็นหยดน้ำ (condensation) เมื่อเทียบแล้วความชื้นจะมีความสำคัญน้อยในสภาพอากาศที่เย็น เนื่องจากการสูญเสียความร้อนโดยการนำ การพา และการแผ่รังสีจะมีผลมาก แต่ความชื้นจะมีความสำคัญมากในสภาพอากาศที่ร้อน โดยการสูญเสียความร้อนโดยการระเหยเหงื่อ ความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วงของ thermal comfort นั้นอยู่ในช่วงร้อยละ 20 – 80

### 2.3.6 ความเร็วลม (Air Velocity)

ความเร็วลมที่ผ่านผู้อยู่อาศัยมีผลกระทบต่อ thermal comfort ลมจะพัดพาความร้อนรอบตัวออกไปทำให้รู้สึกเย็นขึ้น นอกจากนี้ยังพัดพาเอาความชื้นบริเวณผิวหนังซึ่งจะช่วยให้การระเหยของเหงื่อดีขึ้น ร่างกายสูญเสียความร้อนได้ดีขึ้น ทำให้รู้สึกเย็นเนื่องจากการระเหยของน้ำ อย่างไรก็ตามความเร็วลมที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างสภาวะน่าสบาย โดยที่มนุษย์จะรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศจริงประมาณ  $0.4^{\circ}\text{C}$  เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น 1 กิโลเมตร/ชั่วโมง และหากความเร็วลมน้อยเกินไปผู้อยู่อาศัยจะรู้สึกอึดอัด ไม่มีอากาศถ่ายเท แต่หากความเร็วลมที่มากเกินไปก็จะทำให้รู้สึกรำคาญหรือรบกวนการทำงาน

Reynolds และ Stein ได้จัดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม และสภาวะน่าสบายโดยการศึกษารายชื่อของ Victor Olgyay ซึ่งสามารถแสดงได้ในตารางต่อไปนี้ (Reynolds and Stein, 1992: 41)

ตารางที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและผลที่อาจเกิดขึ้นทางด้านอุณหภูมิและความรู้สึก

ความเร็วลม	ความเป็นไปได้ของความรู้สึกอุณหภูมิลดลง (ระหว่าง $80-90^{\circ}\text{F}$ ตัวเลขที่มากสอดคล้องกับบริเวณที่มีความชื้นสูง)	ผลที่อาจเกิดขึ้น
0 – 50 fpm	ไม่มีความเปลี่ยนแปลงในความรู้สึกน่าสบาย	- ไม่สามารถสังเกตได้
50 – 100 fpm	ต่ำลง $2 - 3^{\circ}\text{F}$	- สบาย
100 – 200 fpm	ต่ำลง $4 - 5^{\circ}\text{F}$	- โดยทั่วไปรู้สึกสบาย แต่รับรู้ได้ว่ามีการเคลื่อนไหวของอากาศ
200 – 300 fpm	ต่ำลง $5 - 7^{\circ}\text{F}$	- รู้สึกว่ามีลมพัดเล็กน้อย จนถึงรู้สึกถูกรบกวนได้
สูงกว่า 300 fpm	ต่ำลงมากกว่า $5 - 7^{\circ}\text{F}$	- ต้องการการแก้ไขที่ถูกต้อง

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building, 8<sup>th</sup> Edition, p.41

## 2.4 มาตรฐานวัดความสบาย (Thermal Scale)

มาตรฐานวัดความสบาย (Thermal Scale) เป็นมาตรฐานที่รวมผลกระทบขององค์ประกอบต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อความสบายของมนุษย์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ดัชนีอุณหภูมิ (thermal indices) โดยทำการทดลองเริ่มต้นด้วยการสร้างห้องพิเศษซึ่งสามารถปรับระดับสภาวะอากาศภายในห้องให้มีอุณหภูมิตั้งแต่ร้อนจัดจนกระทั่งหนาวจัด ปฏิกริยาของผู้ถูกทดลองซึ่งอยู่ในห้องดังกล่าว จะถูกบันทึกและประเมินค่าออกมาโดยระเบียบวิธีทางสถิติ เท่าที่มีการค้นคว้ามาตรฐานวัดความสบายมานั้นมีอยู่มากมายหลายแบบ แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะแบบที่มีความสำคัญเท่านั้น

2.4.1 Effective Temperature (ET) Scale หรือที่เรียกว่า “มาตรฐานอุณหภูมิสมประสงค์” เป็นมาตรฐานวัดความสบายแรกที่ถูกคิดค้นโดย Houghton และ Yaglou โดยทำการทดลองที่ ASHRAE โดยมีตัวแปรจากสภาพแวดล้อม 3 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิ, ความชื้น และการเคลื่อนไหวของอากาศ โดยไม่พิจารณาการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

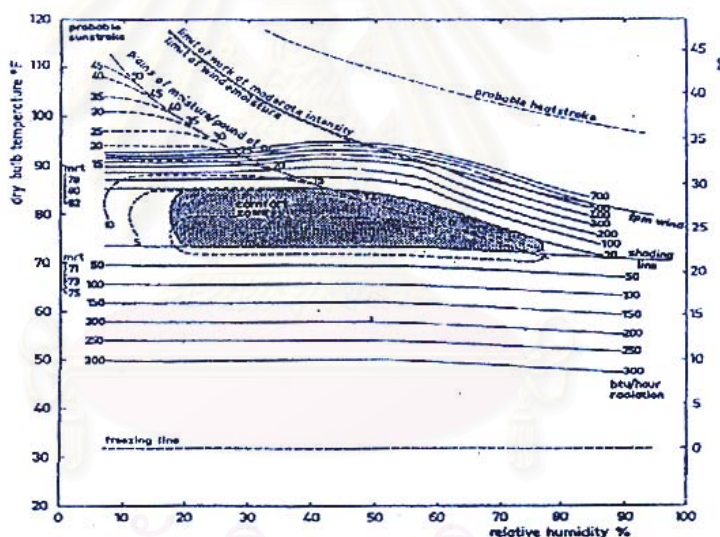
Houghton และ Yaglou ได้ระบุว่า มาตรฐานอุณหภูมิสมประสงค์ มีเขตสบายที่ความชื้นสัมพัทธ์ 30-70% อุณหภูมิสมประสงค์มีค่า  $18.9^{\circ}\text{C}$  ซึ่งอยู่ระหว่าง  $17.2-21.7^{\circ}\text{C}$  (ไม่ใช้ฐานข้อมูลฤดูหนาว กิจกรรมเป็นการพักผ่อน และสวมเสื้อผ้าปกติ) ในขณะที่ Rowley มีการศึกษาทั้งการทดลองและการสำรวจพบว่า มาตรฐานอุณหภูมิสมประสงค์ประมาณค่าเกินควรในเชิงอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อความรู้สึกอบอุ่นและความ

สบายในอุณหภูมิทั่วไป รวมทั้งประมาณค่าต่ำกว่าในเชิงอิทธิพลที่มีต่ออุณหภูมิสูง Yaglou จึงได้เสนอทฤษฎีที่จะพัฒนามาตราอุณหภูมิสมประสงค์บนพื้นฐานของค่าเฉลี่ยผิว (Mean Skin Temperature) ขึ้นในเวลาต่อมา

**2.4.2 Corrected Effective Temperature (CET) Scale** หรือเรียกว่า “มาตราอุณหภูมิสมประสงค์แท้” จะคำนึงถึงผลกระทบของตัวแปร 4 ตัวคือ อุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนไหวของอากาศ และอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน

**2.4.3 Resultant Temperature (RT) Scale** ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Missinard โดยปรับเล็กน้อยจาก “มาตราอุณหภูมิสมประสงค์แท้” มีค่าความเชื่อมั่นสูงต่อเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิในระดับปานกลาง แต่ไม่ใช่สภาพแบบเมืองร้อน ทั้งนี้เนื่องจากมาตรวัดความสบายนี้ ไม่นิยามให้ผลกระทบจากความเย็นของการเคลื่อนไหวของอากาศเกินกว่า  $35^{\circ}\text{C}$  และความชื้นสัมพัทธ์เกินกว่า 80%

**2.4.4 Bioclimatic Index** เป็นมาตราใหม่ซึ่ง Olgay มีแนวความคิดว่า ไม่มีมาตรวัดความสบายหรือดัชนีอุณหภูมิซึ่งมีรูปลักษณะหนึ่งเดียว ทั้งนี้เนื่องมาจากองค์ประกอบทั้ง 4 ประการ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนไหวของอากาศ และอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน มีผลต่อระดับความสบายของอากาศ ได้ถูกควบคุมด้วยวิถีทางที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้สร้างแผนภูมิไบโอไคลเมติก (Bioclimatic Chart) ที่รวมองค์ประกอบทั้งหมดขึ้น



แผนภูมิที่ 2.1 แสดงตัวอย่างแผนภูมิไบโอไคลเมติก (Bioclimatic Chart)

ที่มา : Olgay, 1992: p.22

แผนภูมิไบโอไคลเมติกถูกสร้างโดยใช้แกน Y เป็นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature) และให้แกน X เป็นความชื้นสัมพัทธ์ โดยมีเขตสบายที่ถูกกำหนดขอบเขตไว้ตรงกลางแผนภูมิ รวมทั้งแสดงให้เห็นอิทธิพลของสภาพแวดล้อมโดยการเพิ่มเส้นที่ระดับของความสบายนี้ถูกทำให้สูงขึ้นโดยผลของการเคลื่อนไหวที่ของอากาศประการหนึ่ง และที่ถูกทำให้ต่ำลงโดยผลของการแผ่รังสีความร้อนอีกประการหนึ่ง โดยมนุษย์จะรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิอยู่ระหว่าง  $22-27^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 20-75%

“มาตราดังกล่าวระบุว่า เหมาะสำหรับการอยู่อาศัยในเขตภูมิอากาศที่ไม่รุนแรงของสหรัฐอเมริกา ที่ความสูงไม่เกิน 300 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ด้วยการสวมใส่เสื้อผ้าปกติ และมีกิจกรรมธรรมดา เช่น นั่งพักผ่อน” (Olgay, 1992: p.22)

## 2.5 ความเข้าใจในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น

ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นเช่นประเทศไทยนั้น เป็นที่รู้กันดีว่าจะมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี และมีช่วงของความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในเกณฑ์สูงถึง 6-7 เดือนใน 1 ปี นอกจากนี้ยังมีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงอีก คือ

- 1) ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในน้อย ไม่ว่าจะเป็ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิใน 1 ปี เพียง  $22^{\circ}\text{F}$  และในแต่ละวัน ในฤดูร้อนจะมีอุณหภูมิที่แตกต่าง  $6^{\circ}\text{F}$  และฤดูหนาว  $13^{\circ}\text{F}$
- 2) มีแสงแดดตลอดทั้งปี โดยชั่วโมงที่มีแดดมีถึงประมาณร้อยละ 66 ของชั่วโมงที่มีดวงอาทิตย์ใน 1 ปี
- 3) ความชื้นสัมพัทธ์และความดันไอน้ำในบรรยากาศ เฉลี่ย  $18\text{ mm.Hg}$  และสามารถขึ้นสูงถึง  $20\text{ mm.Hg}$  ในเดือนกรกฎาคม – ตุลาคม (ซึ่งเป็นสภาพอากาศที่ยากจะทนได้)

จากที่กล่าวมาแล้ว พบว่าการทำให้สภาพอากาศเย็นขึ้นก็ไม่ใช่ง่าย เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งมีอยู่มากมายในอากาศ ทำให้อัตราการระเหยของเหงื่อเป็นไปได้ยาก จึงต้องการกระแสลมเข้ามาช่วยเร่งอัตราการระเหยของเหงื่อให้เพิ่มมากขึ้น รวมทั้งการที่มีแสงแดดมากทำให้เกิดการสะสมความร้อนในวัสดุต่างๆ เพิ่มอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนให้มากขึ้นไปอีก

สิ่งที่ต้องให้ความสำคัญรองลงมาจากอุณหภูมิ คือ ความชื้นสัมพัทธ์และความดันไอน้ำในอากาศ ซึ่งต้องการลมมาช่วยพัดพาให้ความรู้สึกกดดันเนื่องจากสภาพอากาศปิดน้อยลง ถึงแม้ว่ากระแสลมจะไม่สามารถช่วยให้เย็นขึ้นได้จริงก็ตาม

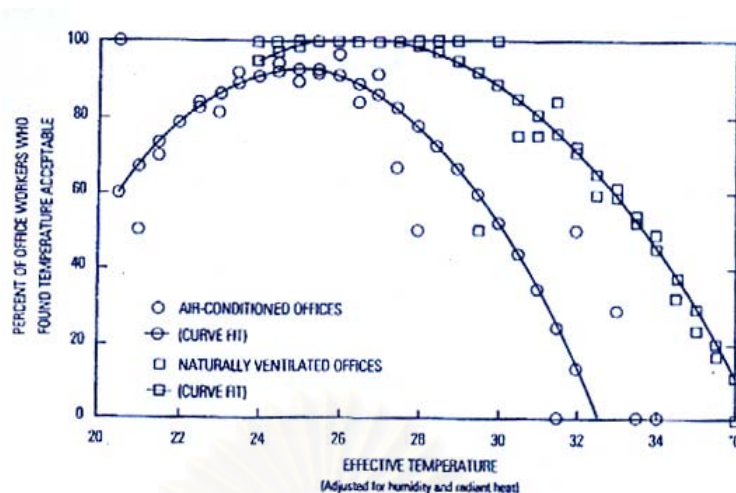
ดังนั้นแนวทางซึ่งเป็นหลักในการออกแบบสถาปัตยกรรมในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นจึงได้แก่

- การลดอุณหภูมิอากาศ
- การลดอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน
- การลดความชื้นสัมพัทธ์
- การเพิ่มอัตราความเร็วของลม

## 2.6 การศึกษาสภาวะน่าสบายของประเทศไทย

มีผู้ศึกษาสภาวะน่าสบายของประเทศไทย คือ John Franklin Busch โดยทำการศึกษากลุ่มตัวอย่าง 1,146 คน ซึ่งอยู่ในกิจกรรมการทำงานในสำนักงาน ทั้งที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

โดยค่าการต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าเป็นไปตามที่เป็นจริง คือ  $0.24-1.19\text{ Clo}$  เฉลี่ย  $0.53\text{ Clo}$  อุณหภูมิอากาศต่ำสุดในห้องปรับอากาศที่  $19.5^{\circ}\text{C}$  และสูงสุดในห้องไม่ปรับอากาศที่  $34.2^{\circ}\text{C}$  โดยเฉลี่ยอยู่ที่  $26^{\circ}\text{C}$  : ซึ่งหลังจากนั้นได้ทำเป็นอุณหภูมิสมประสงค์แล้วได้ค่าเฉลี่ยที่  $27^{\circ}\text{C}$  สูงสุดที่  $36^{\circ}\text{C}$  และต่ำสุดที่  $20.5^{\circ}\text{C}$  การวิเคราะห์ข้อมูลทำโดยวิธีการวิเคราะห์ Probit Analysis ได้ผลดังนี้



แผนภูมิที่ 2.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความรู้สึกต่อสภาพอากาศของคนในสภาพปรับอากาศและไม่ปรับอากาศจากการวิจัยที่กรุงเทพฯ ของ J.F. Busch

ที่มา : E SOURCE, Air-Conditioning Comfort : Behavioral and Cultural Issues, p.15

จากการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการของ ASHRAE แล้วพบว่า กลุ่มตัวอย่างซึ่งทำงานในสภาพไม่ปรับอากาศ สามารถยอมรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 26.1-31°C โดยมีอุณหภูมิกลาง (neutral temperature) ที่ 28.5°C และสำหรับสภาพแวดล้อมที่มีการปรับอากาศจะยอมรับอุณหภูมิ 23.5-28°C โดยมีอุณหภูมิกลางที่ 24.5°C ทั้งหมดนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ ASHRAE Standard แล้วจะพบว่า มีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ทั้งในสภาพที่มีการปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ โดยสูงสุดของอุณหภูมิกลางในสภาพปรับอากาศของ ASHRAE คือ 26.1°C และอุณหภูมิสูงสุดของอุณหภูมิกลางในสภาพไม่มีการปรับอากาศ คือ 28°C

ซึ่งคาดว่าจะเกิดจากความเคยชินในสภาพแวดล้อม และผลมาจากการที่ภายในสถานที่ทำงานในประเทศไทย มีความสามารถในการลดความร้อนได้มาก โดยไม่รบกวนต่อความรู้สึกสบาย

ทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่า นอกจากจะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศที่แตกต่างจากการศึกษาสภาวะน่าสบายในอดีต ซึ่งทำในภูมิอากาศแบบอบอุ่นแล้วยังมีผลเกี่ยวเนื่องมาจากสภาพทางสังคมและวัฒนธรรมที่เกี่ยวข้อง ทำให้ผลการศึกษาสภาวะน่าสบายในอดีต ไม่สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ความสบายสำหรับประเทศไทยได้เหมาะสมนัก นอกจากจะใช้เป็นเพียงแนวทางในการประเมินเท่านั้น

## 2.7 คุณสมบัติทางกายภาพความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร (Thermophysical Properties of Building Materials)

กระบวนการการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกจากอาคาร สามารถเกิดขึ้นได้ 4 วิธีคือ การนำความร้อน (conduction), การพาความร้อน (convection), การแผ่รังสี (radiation) และการระเหยกลายเป็นไอ หรือการควบแน่น (evaporation or condensation)

- 1) การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุหนึ่งๆ หรือระหว่างวัตถุ 2 ชั้นที่สัมผัสกัน ความร้อนจะถ่ายเทผ่านวัสดุจากโมเลกุลที่ร้อนกว่าไปยังโมเลกุลที่เย็นกว่า ในอนุภาคที่ติดกัน

- 2) **การพาความร้อน** เป็นกระบวนการถ่ายเทพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล เช่น อากาศ ก๊าซต่างๆ หรือน้ำ โดยมีทิศทางของการถ่ายเทความร้อนจากที่ร้อนสู่ที่ที่เย็นกว่า เนื่องจากโมเลกุลที่ร้อนและเบากว่าจะลอยตัวขึ้น ส่วนโมเลกุลที่เย็นและหนักกว่าจะตกลงข้างล่าง
- 3) **การแผ่รังสีความร้อน** เป็นการถ่ายเทพลังงานทะลุผ่านช่องว่างใดๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้า จากพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าทะลุผ่านไปยังพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เป็นลักษณะของการกระจายรังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกจากพื้นผิวของวัตถุในทุกทิศทาง
- 4) **การระเหยกลายเป็นไอหรือการควบแน่น** จะเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ และจากไอกลายเป็นของเหลว ตามลำดับ ซึ่งขั้นตอนของการเปลี่ยนสถานะนี้เองที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น (ดูดความร้อน หรือคายความร้อน)

คุณสมบัติของวัสดุทึบตัน (opaque materials) ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของอาคาร, อุณหภูมิภายในอาคาร และภาวะน่าสบายภายในอาคาร มีดังนี้

#### 2.7.1 ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

เป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุที่บ่งบอกถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุทึบตันที่มีเนื้อเดียวถูกกำหนดค่าเป็น  $k$  คือจำนวน british thermal units ต่อชั่วโมง (BTU/h) ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุขนาด 1 ตารางฟุตที่มีความหนา 1 นิ้ว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงผ่านวัสดุนี้  $1^{\circ}\text{F}$  ภายใต้สภาพการถ่ายเทความร้อนคงที่ (steady-state conditions) หน่วยของค่า  $k$  คือ  $\text{BTU/h ft}^{\circ}\text{F}$  เทียบเท่ากับระบบเมตริกคือ  $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$

#### 2.7.2 ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance)

ค่า  $R$  เป็นค่าที่บอกให้รู้ว่าคุณสมบัติของวัสดุทึบตันนั้น มีประสิทธิภาพมากน้อยแค่ไหนในการเป็นฉนวน ค่า  $R$  เป็นส่วนกลับของ conductance จะถูกวัดในจำนวนชั่วโมงที่ต้องการสำหรับความร้อน 1 BTU ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุความหนาหนึ่ง เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ  $1^{\circ}\text{F}$  หน่วยของ  $R$  คือ  $\text{h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}/\text{BTU}$  ในระบบเมตริกคือ  $\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{W}$  ยิ่งวัสดุมีค่า  $R$  Value มากเท่าไร ประสิทธิภาพในความเป็นฉนวนก็ยิ่งมีมากขึ้นเท่านั้น

#### 2.7.3 คุณสมบัติของพื้นผิววัสดุที่เกี่ยวกับการแผ่รังสี

พฤติกรรมของการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนของพื้นผิวนอกอาคารของวัสดุทึบตันมี 3 แบบ ได้แก่ การดูดกลืนรังสีของพื้นผิววัสดุ (surface absorptivity), การสะท้อนรังสีของพื้นผิววัสดุ (surface reflectivity) และการคายรังสีของพื้นผิววัสดุ (surface emissivity) เมื่อรังสีความร้อนกระทบพื้นผิววัสดุ บางส่วนจะถูกดูดกลืนและบางส่วนจะถูกสะท้อนออกจากวัสดุ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, ลักษณะทางกายภาพเคมีของวัสดุ และความยาวของคลื่นรังสีที่ตกกระทบ โดยที่ผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนรังสีจะเท่ากับ 1 เสมอ

ค่าการคายรังสี คือความสามารถของวัสดุและพื้นผิวของวัสดุ ที่จะแผ่หรือปล่อยพลังงานออกมา พื้นผิวที่หยาบจะคายรังสีออกมาได้ดีกว่าพื้นผิวที่เรียบและเป็นมัน ค่าการดูดกลืนรังสี คือ ความสามารถของวัสดุและพื้นผิวที่จะดูดกลืนความร้อน ส่วนค่าของการสะท้อนรังสีของพื้นผิวที่ยังมีความหนาแน่นและเรียบ การสะท้อนรังสีก็ยิ่งมีมากขึ้น ในเรื่องของสีนั้น วัสดุที่มีสีเข้มจะดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีกว่าวัสดุสีอ่อน



**2.7.4 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่พื้นผิวของวัสดุ (Surface Convective Coefficient)**

การถ่ายเทความร้อนที่พื้นผิววัสดุจากการพาความร้อน ขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิววัสดุกับอุณหภูมิอากาศโดยรอบ และตำแหน่งทิศทางของพื้นผิวนั้นๆ การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเนื่องจากอากาศหรือยลลอยตัวขึ้นและอากาศเย็นตกลง พื้นผิวทางตั้งที่ส่งเสริมให้เกิดการเคลื่อนไหวของอากาศในลักษณะนี้จะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนรวดเร็วกว่าพื้นผิวเดียวกันที่วางทางนอน ถ้าทิศทางของการถ่ายเทความร้อนไม่ไปในทิศทางขึ้นสู่ข้างบนผ่านชั้นอากาศแนวนอน นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่พื้นผิวของวัสดุยังขึ้นกับความเร็วมวลของอากาศที่อยู่ใกล้กับพื้นผิวนั้นๆ อีกด้วย

**2.7.5 ความจุความร้อน (Heat Capacity)**

ค่าความจุความร้อน คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุหนึ่งหน่วยปริมาตร หรือพื้นที่ผิวหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา มีหน่วยเป็น  $Kcal/m^3 \cdot ^\circ C$  สำหรับกรณีที่คิดค่าความจุความร้อนของวัสดุในหน่วยปริมาตร ( $C_v$ ) และมีหน่วยเป็น  $Kcal/m^2 \cdot ^\circ C$  สำหรับการคิดค่าความจุความร้อนของผนัง ( $C_w$ ) ค่าความจุความร้อนของวัสดุสามารถหาได้จากสมการ

$C = \rho S \dots\dots\dots(Givoni, 1969)$
--

C หมายถึง ค่าความจุความร้อนของวัสดุหรือของผนัง ( $Kcal/m^3 \cdot ^\circ C$  หรือ  $Kcal/m^2 \cdot ^\circ C$ )

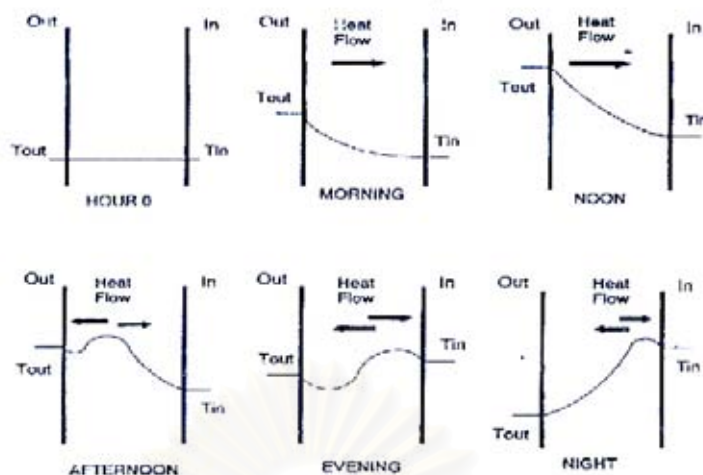
$\rho$  หมายถึง ความหนาแน่นของวัสดุหรือของผนัง ( $kg/m^3$  หรือ  $kg/m^2$ )

S หมายถึง ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Specific Heat) มีหน่วยเป็น  $kcal/kg \cdot ^\circ C$

จากสูตรการหาค่าความจุความร้อนที่ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยคือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ และค่าความหนาแน่นของวัสดุนั้น จะเห็นได้ว่า ในความเป็นจริงแล้วค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุใดๆ จะมีค่าในช่วงที่แตกต่างกันไม่มากนัก ในขณะที่ค่าความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ จะมีช่วงที่แตกต่างกันมาก โดยจะขึ้นอยู่กับมวลสารของวัสดุนั้นๆ เป็นหลัก จึงอาจกล่าวได้ว่า ค่าความจุความร้อนของวัสดุใดๆ จะแปรผันตามมวลสารของวัสดุนั้นๆ เป็นส่วนใหญ่

**2.8 บทบาทของมวลสารกับการถ่ายเทความร้อน (The Role of Thermal Mass)**

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศภายในอาคารภายใต้สภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ นอกเหนือจากปัจจัยภายนอก (ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอก) และปัจจัยภายใน (ผู้ใช้อาคาร, ไฟฟ้าจากแสงสว่างหลอดอุปกรณ์) แล้ว ยังมีปัจจัยที่เกิดจากโครงสร้างของเปลือกอาคาร และคุณสมบัติของวัสดุเหล่านั้น ที่จะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกจากอาคารจนทำให้เกิดดุลยภาพทางความร้อน (thermal balance) ที่จะเป็นตัวบ่งชี้สภาพอากาศภายในอาคาร

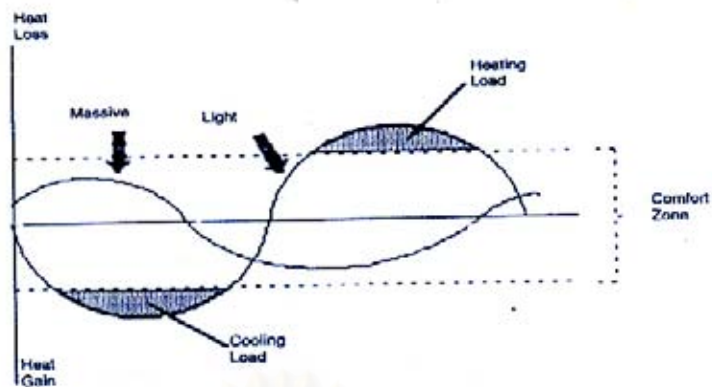


ภาพที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารในช่วงเวลาต่างๆของวัน  
(ที่มา : Passive Cooling of Building, p.187)

จากภาพที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและการถ่ายเทความร้อนผ่านส่วนประกอบของผนังอาคาร โดยในขั้นต้น ผนังอาคารจะมีอุณหภูมิภายนอกและภายในเท่ากัน เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิผิวภายนอกของอาคารจะเพิ่มสูงขึ้นจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในองค์ประกอบของผนังอาคาร ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในตอนเที่ยง-บ่าย อุณหภูมิของผนังอาคารก็จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนเกือบเท่ากับอุณหภูมิพื้นผิวภายนอก และเมื่ออากาศภายนอกค่อยๆ มีอุณหภูมิลดลงในเวลาเย็น ความร้อนก็จะค่อยๆ ถ่ายเทผ่านผนังไปสู่ด้านที่เย็นกว่าทั้งภายในและภายนอกอาคาร

การใช้วิธีเก็บกักความร้อนเอาไว้ในวัสดุผนังภายนอกและภายในอาคาร เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในและภาวะการปรับอากาศสูงสุดของอาคารลงได้ โดยการเลื่อนภาวะการทำความเย็นของระบบปรับอากาศไปไว้ในช่วงเวลาถัดไป ซึ่งวัสดุที่มีคุณสมบัติดังกล่าวจะเป็นวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนสูง ตัวอย่างเช่น คอนกรีต อิฐ เป็นต้น

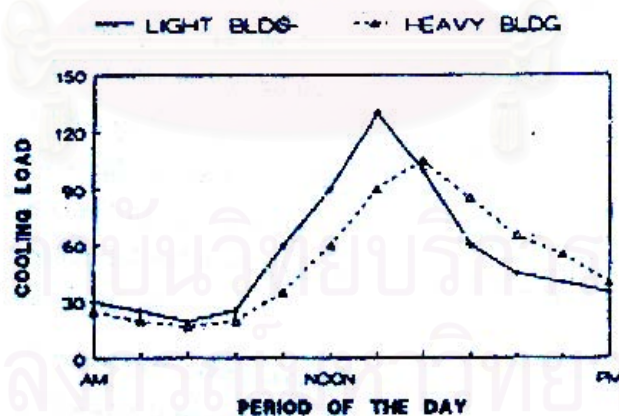
วัสดุผนังภายนอกอาคารที่มีมวลสารมาก จะมีผลในเชิงบวกกับสภาพอากาศภายในอาคารในการช่วยลดความรุนแรงของสภาพอากาศภายนอกและการลงภาวะการปรับอากาศ ในช่วงที่ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกกับภายในมีค่าสูงสุด เนื่องจากความร้อนจะถูกสะสมไว้ในมวลสารในช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงถึงขีดสุดของวัน แล้วความร้อนที่สะสมไว้จะค่อยๆ ถ่ายเทเข้าสู่อาคารอย่างช้าๆ ในช่วงเวลาถัดมา ดังนั้นการใช้ผนังภายนอกที่มีมวลสารมากจะทำให้เกิดการลดลงของภาวะการทำความเย็นสูงสุดของระบบปรับอากาศ (peak cooling load) เนื่องจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของผนังกับสภาพอากาศภายนอกและภายในอาคาร



ภาพที่ 2.2 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังมวลสารน้อยและผนังมวลสารมาก  
(ที่มา : Passive Cooling of Building, p.189)

จากภาพที่ 2.2 แสดงถึงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังภายนอกอาคารของมวลสารน้อย และมวลสารมาก โดยที่เส้นกราฟเหนือแนวแกน X แสดงถึงภาวะที่เกิดการถ่ายเทความร้อนออกจากอาคาร ในขณะที่เส้นกราฟใต้แกน X จะแสดงถึงภาวะที่เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร พื้นที่ใต้กราฟในส่วนที่แรงขาของผนังมวลสารเบา จะแสดงถึงช่วงเวลาที่สภาพอากาศภายในอาคารอยู่นอกเขตภาวะน่าสบาย และจำเป็นต้องใช้ระบบปรับอากาศมาช่วยทำให้สภาพอากาศภายในอยู่ในเขตภาวะน่าสบาย

ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งของการใช้ผนังอาคารที่มีมวลสารมากก็คือ การหน่วงเหนี่ยวเวลาในการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งเวลาที่ใช้จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ภายใต้อุณหภูมิที่คงที่ (steady-state conditions) ผนังไม้หนา 2.5 ซม. จะมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับผนังคอนกรีตหนา 30.5 ซม. แต่การหน่วงเหนี่ยวเวลาในการถ่ายเทความร้อนของผนังไม้จะสั้นมากเพราะว่าค่าความจุความร้อนของผนังไม้มีน้อย



ภาพที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของภาระการปรับอากาศของผนังมวลสารน้อยและมวลสารมากในช่วง 1 วัน  
(ที่มา : Passive Cooling of Building, p.189)

จากภาพที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาเช้าจนถึงเที่ยงวัน ภาระการปรับอากาศของผนังมวลสารมากจะมีค่าต่ำกว่าผนังมวลสารน้อย และมีค่าภาระการปรับอากาศสูงสุด (peak load) ต่ำกว่าด้วย แต่เมื่อถึงช่วงเวลาที่ถัดมาในตอนบ่าย-เย็น ค่าภาระการปรับอากาศของผนังมวลสารมากจะมีค่าสูงกว่า อันเนื่องมาจากความร้อนที่เก็บสะสมไว้ภายในค่อยๆ เคลื่อนตัวเข้าสู่ภายในอาคาร แต่อย่างไรก็ตาม พื้นที่ใต้กราฟของทั้ง 2 แบบจะเท่ากัน

นั่นหมายถึงว่า ผนังมวลสารทั้ง 2 แบบจะมีค่าภาระการปรับอากาศโดยรวมทั้งหมดเท่ากัน แต่การใช้ผนังมวลสารมากจะมีประโยชน์ในด้านการลดภาระการปรับอากาศสูงสุด ทำให้สามารถลดขนาดของเครื่องปรับอากาศลงได้ รวมถึงการหน่วงเหนี่ยวเวลาในการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังไปในช่วงเวลาเย็น-ค่ำ ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากกับอาคารประเภทที่ไม่มีการใช้งานในช่วงเวลาดังกล่าว เช่น อาคารสำนักงาน

## 2.9 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของมวลสาร (Parameter Influencing Thermal Mass Effectiveness)

ในการออกแบบอาคารให้ได้ผลดีที่สุดในด้านการประหยัดพลังงาน และภาวะน่าสบายภายในอาคาร นั้น เราจำเป็นต้องทำความเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง และการใช้ประโยชน์จากมวลสารของผนังภายนอกอาคาร โดยที่การใช้ประโยชน์จากมวลสารของผนังในระดับที่จะให้ได้ผลดีที่สุดนั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง (Santamouris M. and Asimakopoulous D., 1996) เช่น คุณสมบัติของวัสดุที่เป็นผนังอาคาร, การวางตำแหน่งและทิศทางอาคาร, การใช้ฉนวนกันความร้อน, การระบายอากาศ, สภาพอากาศภายนอก, การใช้ระบบปรับอากาศและรูปแบบการใช้งานภายในอาคาร เป็นต้น ซึ่งในที่นี่จะกล่าวถึงเฉพาะปัจจัยที่เกิดจากอิทธิพลของมวลสารเท่านั้น ได้แก่

### 2.9.1 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ

วัสดุที่สามารถกักเก็บความร้อนเอาไว้ได้มากจะมีคุณสมบัติดังนี้ คือ มีค่าความหนาแน่นมาก ( $\rho$ ), มีค่าความจุความร้อนมาก ( $C$ ) และมีค่าการนำความร้อนสูง ( $\lambda$ ) ส่วนค่าของ thermal diffusivity ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\lambda / C$  (หรือ  $\lambda / \rho S$  เมื่อ  $S$  คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ) จะเป็นตัวแปรหนึ่งที่ควบคุมการถ่ายเทความร้อนภายในเนื้อวัสดุ โดยที่วัสดุที่มีค่า thermal diffusivity สูง จะมีประสิทธิภาพในการกักเก็บความร้อนตามวัฏจักรของช่วงเวลา (cycle) ได้ดีกว่าวัสดุที่มีค่า thermal diffusivity น้อย

### 2.9.2 การจัดวางตำแหน่งผนังมวลสารภายนอกอาคาร

ตำแหน่งและทิศทางในการจัดวางผนังมวลสารภายนอกอาคาร จะมีผลต่อพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง และสภาวะอากาศภายในอาคารแตกต่างกัน โดยอาจแยกพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ ในกรณีที่ผนังมวลสารนั้นๆ ได้รับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง (direct radiation) และในกรณีที่ผนังได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีอินฟราเรด และจากการพาความร้อนของอากาศภายในห้อง (indirect radiation) ความร้อนที่ถูกสะสมไว้และถ่ายเทเข้าสู่อาคารจากผนังมวลสารที่ได้รับการแผ่รังสีโดยตรง จะมีอิทธิพลกับอุณหภูมิพื้นผิวภายนอก, อุณหภูมิพื้นผิวภายใน และอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร มากกว่าความร้อนที่ถูกสะสมและถ่ายเทเข้าสู่อาคารจากผนังมวลสารที่ไม่ถูกแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของผนังมวลสารในแง่ของการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time lag) ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งทิศทางการวางผนังมวลสารนั้นๆ (Lechner. N, 1991) พบว่า

- ผนังมวลสารที่หันหน้าสู่ทิศเหนือ จะต้องการเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านนี้มีอยู่น้อย
- ผนังมวลสารที่หันหน้าสู่ทางทิศตะวันออก จะมีความต้องการเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เป็นไปได้อยู่ 2 กรณีคือ จะต้องมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่นานมากกว่า 14 ชั่วโมง เพื่อให้ความร้อนที่สะสมและถ่ายเทผ่านผนังเลื่อนเวลาไปในช่วงเย็น และอีกกรณีหนึ่งคือ ผนังมวลสารนั้นต้องมีค่าการ

ห่วงเหี่ยวความร้อนที่สั้นมากๆ ซึ่งหากจะพิจารณาในด้านเศรษฐศาสตร์และความคุ้มค่าแล้วจะเห็นได้ว่า การใช้ผนังมวลสารทางทิศตะวันออกที่มีค่าการห่วงเหี่ยวความร้อนสั้นนั้นจะมีความเหมาะสมมากกว่า

- ผนังมวลสารที่หันหน้าทางทิศใต้ ที่มีค่าการห่วงเหี่ยวความร้อนประมาณ 8 ชั่วโมง ก็เพียงพอสำหรับการเลื่อนและห่วงเหี่ยวความร้อนที่สะสมจากช่วงเที่ยงวันไปไว้ในช่วงเย็นได้
- ผนังมวลสารที่หันหน้าทางทิศตะวันตก จะมีความต้องการเวลาในการห่วงเหี่ยวความร้อนประมาณ 8 ชั่วโมงเช่นกัน เนื่องจากช่วงเวลาที่ความร้อนสะสมอยู่ในผนังด้านนี้ เป็นเวลาที่พระอาทิตย์ใกล้ลับขอบฟ้า

### 2.9.3 อิทธิพลของผนังมวลสารและฉนวนกันความร้อน

คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนและมวลสารจะมีส่วนสำคัญอย่างมากกับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังภายนอกของอาคาร การใช้ผนังมวลสารจะสามารถลดอัตราการใช้พลังงานทางด้านภาระการทำความเย็นของอาคารลงได้ ในสภาพภูมิอากาศที่อาคารนั้นๆ มีภาระการทำความเย็นเป็นหลัก และจะเป็นผลดีสำหรับอาคารที่ไม่มีการใช้งานในช่วงค่ำ เนื่องจากความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังมวลสารจะค่อยๆ ถ่ายเทออกจากผนังในช่วงเวลาดังกล่าว จากการศึกษา (Balcomb J and R.Jones, 1988) พบว่า การใช้ฉนวนกันความร้อนทั่วไป เช่น โพลีสไตรีนโฟม อาจจะทำให้อิทธิพลของผนังมวลสารในการห่วงเหี่ยวความร้อนลดลงได้ เนื่องจากฉนวนกันความร้อนนั้นๆ จะไปลดทอนความร้อนบางส่วนของผนังลง ซึ่งอิทธิพลนี้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของฉนวนด้วย หากมองในภาพรวมแล้ว การใช้ผนังมวลสารจะมีประโยชน์อย่างมากถ้าใช้พิจารณาควบคู่ไปกับช่วงเวลาการดำเนินการของอาคาร เมื่อเทียบกับการใส่ฉนวนกันความร้อนให้กับผนังแต่เพียงอย่างเดียว

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อหารูปแบบ กลยุทธ์ในการปรับปรุงอาคารพักอาศัยเดี่ยวอาหาร ประเภท บ้านเดี่ยวสองชั้น เพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาคารกรณีศึกษานี้ตั้งอยู่บริเวณ รังสิตคลองสาม จังหวัดกรุงเทพมหานคร โครงสร้างอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นที่ใช้สอยประมาณ 46.85 ตารางเมตร ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยโดยละเอียดดังนี้

#### 3.1 การศึกษาทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ ได้ศึกษาทฤษฎีในการที่จะนำข้อมูลและความรู้ที่ได้มาวิเคราะห์เป็นแนวทางในการออกแบบปรับปรุง อันประกอบไปด้วย วิธีการตรวจวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายและการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร การศึกษาข้อกำหนดและมาตรฐานสภาวะน่าสบาย การกำหนดประเภทของข้อมูลที่ต้องการเพื่อการเก็บวัดผล การกำหนดแนวทางการปรับปรุงและวิเคราะห์ประเมินผลเพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคาร ตลอดจนการศึกษาเทคโนโลยีในปัจจุบันที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางเลือกสำหรับการออกแบบปรับปรุง รวมไปถึงเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ วัดค่าข้อมูล อ่านและเก็บข้อมูล และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผล เพื่อเพิ่มศักยภาพในการสร้างสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

#### 3.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลอาคารกรณีศึกษา

การตรวจวัด วิเคราะห์และประเมินสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยการจำลองสภาพอาคารจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดและเก็บข้อมูลจริงของอาคารกรณีศึกษาในช่วงเวลาหนึ่ง (เนื่องจากข้อจำกัดของเวลาในการศึกษาจึงใช้ข้อมูลที่เก็บได้จากการสำรวจอาคารประกอบกับข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารปี พ.ศ. 2546) โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 3.2.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร

###### 3.2.1.1 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและที่ตั้งอาคาร อันประกอบไปด้วย

- การศึกษาทิศแนวแกนอาคาร (orientation) ด้วยการนำเข็มทิศเข้าไปเทียบหาทิศเหนือที่แท้จริง ณ ที่ตั้งอาคาร เพื่อทราบทิศที่แน่นอนของแนวอาคารกรณีศึกษา
- การศึกษาลักษณะพืชพรรณ (vegetation) ที่มีอยู่ ณ ที่ตั้งอาคาร สำรวจในพื้นที่เพื่อกำหนดตำแหน่ง ชนิด ความสูง และจำนวนของต้นไม้ที่มีอยู่ในพื้นที่
- การศึกษาดำเนินการสถาปัตยกรรมข้างเคียงอาคาร สำรวจพื้นที่เพื่อกำหนดตำแหน่ง ขนาด และลักษณะของสิ่งก่อสร้างที่มีอยู่ ณ ที่ตั้งอาคาร

### 3.2.1.2 การเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของตัวอาคาร

- การแบ่งพื้นที่ใช้สอยอาคาร (zoning) สํารวจ เก็บข้อมูลลักษณะการใช้งานอาคารและการจัดแบ่งพื้นที่ใช้สอยอาคาร
- ศึกษาแผนผังการจัดวางอาคาร ลักษณะเปลือกอาคาร ความสูงอาคาร
- ศึกษาสัดส่วนของช่องเปิดแต่ละทิศของอาคารต่อผนังทับ (window to wall ratio)
- ศึกษาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร เก็บข้อมูลวัสดุก่อสร้างอาคาร วัสดุตกแต่งและโครงสร้างอาคาร (ความจุความร้อน, การถ่ายเทความร้อน, ความสามารถดูดกลืนความร้อน, การกระจายความร้อน และการหน่วงเหนี่ยวความร้อน)

### 3.2.1.3 การเก็บข้อมูลอัตราส่วนการใช้งานอาคารจำแนกประเภท

- จำแนกประเภทการใช้งานแต่ละพื้นที่ในอาคารและศึกษาลักษณะพฤติกรรมการใช้งานอาคารของผู้ใช้อาคาร
- เก็บข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานอาคารในแต่ละช่วงเวลา การเปิด-ปิดระบบแสงสว่างและการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า จำแนกตามประเภทการใช้งานในอาคาร นำมาคิดเป็นอัตราส่วนการใช้งานในแต่ละช่วงเวลาเทียบกับการใช้งานสูงสุด

### 3.2.1.4 การเก็บรายละเอียดงานระบบอาคาร

- ตำแหน่งดวงโคม ขนาด ชนิด จำนวนดวงโคมที่ใช้ในอาคาร
- วงจรในการเปิด-ปิดดวงโคม
- ชนิด จำนวนอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีการใช้งาน แยกตามพื้นที่ใช้สอยในอาคาร
- อายุการใช้งานและการบำรุงรักษา

## 3.2.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร

เพื่อประกอบการวิเคราะห์และประเมินการใช้พลังงานในอาคาร และใช้ในการบ่อนค่าให้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการศึกษา มีรายละเอียดต่างๆดังนี้

### 3.2.2.1 การสำรวจรายละเอียดการใช้พลังงานของระบบเครื่องกลอื่นๆ

- จำนวน และปริมาณพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีการใช้งาน จำแนกตามการจัดพื้นที่ใช้สอยในอาคาร (เท่าที่เป็นไปได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาและความสะดวกของอาคารสถานที่)

### 3.2.2.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณความร้อนในอาคาร

- คุณสมบัติด้านพลังงานของวัสดุเปลือกอาคาร ซึ่งอาจพิจารณาค่าการนำความร้อนของวัสดุต่างๆ เพื่อใช้ประกอบในการคำนวณการถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานลักษณะทางกายภาพของอาคาร

### 3.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารจากการสำรวจกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์อุณหภูมิภายในอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม DOE-2 เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริงจากอาคารกรณีศึกษา เพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำหรือเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคารดังกล่าว เพื่อให้สามารถใช้เป็นตัวแทนอาคารกรณีศึกษาได้จริง เกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินน้อยที่สุดหรือใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินผลสถานะน่าสบายและการใช้พลังงานของอาคารในแต่ละแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารตามที่ได้เสนอไว้

### 3.4 การวิเคราะห์และประเมินด้านสถานะน่าสบายและการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร

จากข้อมูลอาคารที่สำรวจและเก็บรวบรวมมาได้ นำมาสรุปข้อดีและปัญหาภายในอาคาร เก็บรวบรวมและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาหาแนวทางการแก้ปัญหาด้านสถานะน่าสบายและการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร โดยใช้ข้อกำหนดกฎหมายมาตรฐานควบคุมอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน มาตรฐานทางด้านสถานะน่าสบาย ด้านเศรษฐศาสตร์อาคาร และการประเมินด้วยการจำลองสถานะน่าสบายในอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer simulation) เพื่อกำหนดส่วนประกอบอาคารกรณีศึกษาที่ต้องปรับปรุงตามปัญหาที่พบจากการสำรวจ กำหนดวิธีการปรับปรุงที่มีความเหมาะสมในเชิงเทคนิค ความเป็นไปได้ในการปรับปรุง แล้วศึกษาความเหมาะสมในด้านประสิทธิภาพการสร้างสถานะน่าสบาย และการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

### 3.5 การเสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

เสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา จากตัวแปรสำคัญที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในอาคาร โดยนำวิธีการที่มีประสิทธิภาพทุกวิธีการมาใช้ปรับปรุงอาคาร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสร้างสถานะน่าสบายและการใช้พลังงาน พร้อมทั้งการวิเคราะห์ในแต่ละแนวทางด้วยการจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพในการสร้างสถานะน่าสบายและการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเมื่อปรับปรุงแล้ว

### 3.6 การวิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมิน ในแต่ละแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคาร

เป็นการประเมินผลด้านสถานะน่าสบายในอาคาร ตามแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารที่ได้เสนอไว้ ด้วยเกณฑ์เชิงกายภาพและข้อกำหนดกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เช่น ศักยภาพในการสร้างสถานะน่าสบายและการใช้พลังงาน โดยการจำลองสภาพการณ์ของอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวเป็นเพียงข้อเสนอแนะเบื้องต้น มิได้ทำการปรับปรุงกับอาคารจริง จึงไม่สามารถทำการตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานอาคารกรณีศึกษาได้จริง) และเกณฑ์เชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น โดยใช้รูปแบบของราคาต้นทุนในการก่อสร้าง และการสร้างสถานะน่าสบายในแต่ละแนวทาง

### 3.7 สรุปแนวทางที่เหมาะสม ในการออกแบบปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

การสรุปแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจากการประเมินผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีความเหมาะสมในด้านกายภาพ และด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ความเป็นไปได้เมื่อทำการปรับปรุงอาคารจริง อันจะนำไปสู่การสร้างสถานะน่าสบายและการใช้พลังงานภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ



### 3.8 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

#### 3.8.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร

##### 3.8.1.1 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิอุณหภูมิตั้งและอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอาคาร

- HOBO data logger

เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น โดยมีสาย sensor วัด แล้วเก็บข้อมูลไว้ในกล่องเก็บข้อมูล ที่สั่งการให้เก็บข้อมูลมีความละเอียดได้ตั้งแต่ รายวินาที รายนาที่ รายชั่วโมง สามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งหน่วย SI และ IP การสั่งงานและการอ่านค่าต้องใช้ควบคู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สั่งงานโดยเฉพาะ (โปรแกรม box car pro)

การสำรวจอาคารใช้อุปกรณ์ชนิดนี้จำนวน 3 เครื่อง ซึ่งทั้ง 3 เครื่องได้รับการเปรียบเทียบค่าให้ตรงกันจากบริษัทผู้ผลิต โดยเมื่อนำมาตั้งค่าวัดอุณหภูมิพร้อมๆกัน ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกันในห้องปรับอากาศ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ HOBOT data logger

- อุปกรณ์วัดอุณหภูมิพื้นผิวระยะไกล ชนิดปืน

เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ใช้เลเซอร์ยิงวัดอุณหภูมิพื้นผิวของอาคารกรณีศึกษา แสดงผลบนจอแสดงผล สามารถวัดค่าแล้วแสดงผลได้ทั้งเซลเซียส หรือ ฟาเรนไฮต์ ผู้วัดต้องทำการจดบันทึกข้อมูลเก็บไว้ด้วยตัวเอง



ภาพที่ 3.2 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิพื้นผิวระยะไกล ชนิดปืน

### 3.8.1.2 อุปกรณ์วัดแสง

- ลักซ์มิเตอร์

เป็นเครื่องมือวัดแสงที่ใช้ในการศึกษา สำหรับหาค่าประสิทธิภาพความส่องสว่าง (daylight factor) ค่าการสะท้อนแสง และค่าการส่องผ่านของส่วนประกอบอาคารที่ต้องการ ลักซ์มิเตอร์มี range ในการวัดค่าระหว่าง 200-50, 000 ลักซ์



ภาพที่ 3.3 แสดงรูปเครื่องมือวัดแสงลักซ์มิเตอร์

### 3.8.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองสภาพอาคาร DOE 2.1 E

การประเมินการใช้พลังงานในอาคาร โดยปกติแล้วจะทำการประเมินในช่วงระยะเวลา 1 ปี ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่สะดวกหากจะทำการคำนวณด้วยมือ จึงได้มีการพัฒนาโปรแกรม เพื่อช่วยในการคำนวณการใช้พลังงานในอาคารขึ้น และโปรแกรม DOE-2 เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประเมินการใช้พลังงานและสภาพอุณหภูมิในอาคารนั่นเอง

โปรแกรม DOE-2 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจสอบอุณหภูมิอากาศและประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในอาคาร สำหรับอาคารที่สร้างเสร็จที่ต้องการประเมินและทำการปรับปรุงอาคาร เพื่อการสร้างสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ใช้หลักการคำนวณการใช้พลังงานเป็นรายชั่วโมงต่อชั่วโมง ผลการประเมินจากคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถเห็นภาพรวมการใช้พลังงานภายในอาคาร ทราบถึงตัวแปรที่ทำให้เกิดภาวะการปรับอากาศ การให้แสงสว่าง และการทำงานของระบบเครื่องกลในอาคาร ทำให้สามารถกำหนดแนวทางเลือกต่างๆในการออกแบบปรับปรุงอาคาร การประเมินศักยภาพการใช้พลังงานและสภาวะน่าสบายภายในอาคารของแนวทางดังกล่าวได้ก่อนทำการปรับปรุงอาคารจริง

#### 3.8.2.1 ลักษณะของโปรแกรม

- 1) จุดประสงค์ของโปรแกรมเน้นที่ความแม่นยำในการคำนวณทุกขั้นตอน
- 2) คำนวณภาวะการปรับอากาศโดยวิธี transfer function method
- 3) คำนวณการใช้พลังงานตลอดปีโดยวิธี hour – by – hour method
- 4) ใช้ข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงในการคำนวณการใช้พลังงาน จากข้อมูลสภาพอากาศจริง หรือการคำนวณข้อมูลสภาพอากาศขึ้นใหม่จากข้อมูลจริงที่มีอยู่

### 3.8.2.2 หลักการทำงานของโปรแกรม DOE-2

- 1) DOE-2 จะทำการแปลความหมายจากภาษาที่เขียนด้วยตัวอักษรใน DOS ให้เป็นภาษาที่โปรแกรมเข้าใจ คือ fortran นั่นคือไม่ว่าจะมีการป้อนข้อมูลใดๆก็ตาม คอมพิวเตอร์จะทำการ run โปรแกรมด้วย DOE-2 ก่อนเพื่อให้แปลตัวอักษรเป็นภาษา fortran นั้นเอง
- 2) DOE-2 ประกอบด้วย 1 โปรแกรมย่อยที่ใช้แปลงข้อมูลนำเข้า (input) ที่เป็นภาษาเขียน และ 4 โปรแกรมย่อยที่ใช้ในการจำลองสภาพการใช้พลังงานภายในอาคาร (LOADS, SYSTEMS, PLANT and ECON) โดยทั้ง 4 โปรแกรมมีความสัมพันธ์กันในส่วนของการข้อมูล (output) ที่ทั้ง 4 โปรแกรมนำออกมาโดยมีรายละเอียดดังนี้

**Input data** เขียนด้วยตัวอักษร ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 5 ส่วน คือ

- ก) BDL processor (the building description language processor) การอธิบายข้อมูลอาคารด้วยภาษาที่เข้าใจง่าย และปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบที่โปรแกรมสามารถเข้าใจได้ เพื่อการคำนวณตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร และประเมินความสำคัญของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอาคาร
- ข) LOADS (the loads simulation subprogram) การเขียนคำสั่งและป้อนข้อมูลอาคารเพื่อการคำนวณส่วนประกอบทางด้านความร้อนสัมผัส (sensible) และความร้อนแฝง (latent) หรือความต้องการพลังงานที่ใช้ในอาคาร ทั้งภาระการปรับความเย็น (cooling load) หรือร้อน (heating load) ในแต่ละพื้นที่ที่ผู้ใช้ต้องการคำนวณ โดยให้ถือเสมือนว่าพื้นที่แต่ละส่วนที่พิจารณามีค่าอุณหภูมิภายในที่เท่ากันทั้งพื้นที่ ชุดคำสั่งนี้มีความสัมพันธ์กับภูมิอากาศ ตำแหน่งและข้อมูลด้านรังสีดวงอาทิตย์ ตารางการใช้งานอาคาร พฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร ชนิดและขนาดของระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ การรั่วซึมอากาศ รวมทั้งการหน่วงเหนี่ยวในการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุเปลือกอาคารที่มีผลต่อสภาพภายในอาคาร
- ค) SYSTEMS (the secondary HVAC systems simulation subprogram) ในขณะที่ loads ประเมินหรือประมาณค่าความต้องการพลังงานที่ใช้ภายในอาคาร systems จะประเมินในด้านที่เกี่ยวข้องกับระบบที่ใช้ในอาคาร ทั้งความต้องการอากาศจากภายนอกที่เข้ามาทดแทน ชั่วโมงการใช้งานและการควบคุมระบบ HVAC ในอาคาร (fans, coils and ducts) ผลที่ได้จาก systems ระบุเป็นการะการปรับอากาศของเครื่องปรับอากาศแยกตามพื้นที่และระบบที่ใช้งาน
- ง) PLANT (the primary HVAC systems simulation subprogram) การจำลองสภาพในการใช้งานของส่วน boilers, chillers, cooling towers, storage tanks, turbine ฯลฯ ที่ทำให้เกิดภาระการปรับอากาศภายในอาคาร ซึ่งเป็นการ

คำนวณอย่างต่อเนื่องตามผลที่ได้จาก systems, plant ใช้ในการคำนวณ ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซและพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในอาคาร

- จ) ECONOMICS (the economic analysis subprogram) เป็นการคำนวณ อัตราค่าพลังงานที่ใช้ในอาคารเพื่อเปรียบเทียบอัตราค่าไฟฟ้าสุทธิที่ลดลงใน แต่ละแนวทางการออกแบบปรับปรุง

Weather Data เป็น file ที่มีนามสกุล TMY (Test Meteorological Year) หรือ TRY (Test Reference Year) ซึ่งประเทศสหรัฐอเมริกาจัดทำไว้ให้ สำหรับประเทศไทยจะต้องทำการเขียน ขึ้นเองจากข้อมูล รายชั่วโมงซึ่งต้องเขียนเป็น format ให้ตรงกัน (เป็น text file ที่ระบุข้อมูลทาง อากาศทุกอย่างที่ต้องการเป็นรายชั่วโมง ได้แก่ dry-bulb temperature, wet-bulb temperature, atmospheric pressure, wind speed and direction, cloud cover, and (in some cases) solar radiation)

### 3.8.2.3 การป้อนข้อมูลของโปรแกรม

- 1) การป้อนข้อมูลเป็นจำนวนมาก ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมต้องมีความรู้ในด้านต่างๆ เป็น อย่างดี
- 2) ลักษณะการป้องกันข้อมูลที่มีความละเอียดสูง เช่น การป้องกันวัสดุกรอบอาคาร ต้องทำการสร้างวัสดุขึ้นใหม่ เพื่อสร้างเป็นชั้นวัสดุในกรอบอาคาร แล้วจึงนำชั้นวัสดุนั้นไปสร้างเป็นกรอบอาคารเพื่อนำมาคำนวณการใช้พลังงาน

### 3.8.2.4 การแสดงผลของโปรแกรม

- 1) โปรแกรมสามารถแสดงการป้อนข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อการตรวจสอบความ ถูกต้องของผลการคำนวณได้ในทุกๆด้าน
- 2) สามารถเลือกระดับความละเอียดในการแสดงผลการคำนวณได้

### 3.8.2.5 การวิเคราะห์การใช้ข้อมูลที่กำหนดให้ในการคำนวณ (default)

การใช้ค่าที่กำหนดไว้เป็นฐานข้อมูลในโปรแกรม เพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วใน การคำนวณ และมีผลการคำนวณที่ใกล้เคียงความเป็นจริงในระดับหนึ่ง จึงมีการจัดข้อมูล ต่างๆ เป็นพื้นฐานในการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่เป็นค่าที่กำหนดไว้ในขั้นตอน การคำนวณ โดยแยกประเภทได้ ดังนี้

- 1) สภาพอากาศภายนอก จะแปรเปลี่ยนไปตามสถานที่ตั้ง และสภาพแวดล้อมรอบๆ อาคาร ซึ่งมีความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ข้อมูลสภาพอากาศตลอดทั้งปีใน บริเวณที่ตั้งอาคารไม่สามารถหาได้โดยสะดวกและมีค่าไม่คงที่ในแต่ละปี ดังนั้นจึง ใช้ข้อมูลสภาพอากาศในท้องถิ่นนั้นเป็นตัวแทน ในการประเมินการใช้พลังงานใน อาคาร
- 2) ข้อมูลกรอบอาคาร ต้องมีการจัดฐานข้อมูลของกรอบอาคารเป็นชุดๆ ตามชนิดของ กรอบอาคาร เพื่อใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างกรอบอาคารต่างๆ ได้ โดยตรงและเพื่อความสะดวกในการสร้างกรอบอาคารใหม่ ซึ่งสามารถกระทำได้ โดยการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงข้อมูลกรอบอาคารที่มีอยู่เดิมในฐานข้อมูล เพื่อ นำไปใช้ในการคำนวณต่อไป

- 3) การใช้งานอาคาร เช่น ช่วงเวลาในการใช้อาคาร จำนวนผู้ใช้อาคารแต่ละพื้นที่ กิจกรรมของผู้ใช้อาคารในแต่ละพื้นที่อาคาร ปกติการใช้พลังงานอาคารจะมีความหลากหลายแตกต่างกันไป และเพื่อลดขั้นตอนการป้อนข้อมูลจึงเสนอให้จัดค่าการใช้งานอาคารเป็นข้อมูลที่กำหนดไว้ในฐานข้อมูล
- 4) สภาพอากาศภายในอาคาร ขึ้นอยู่กับกิจกรรมของผู้ใช้อาคารในพื้นที่ต่างๆ และการจัดสภาพอากาศในอาคารที่แตกต่างกัน (โดยให้อยู่ในสภาวะสบายเหมือนกัน) จะมีการใช้พลังงานในการรักษาสภาพอากาศภายในอาคารนั้นๆไม่เท่ากัน
- 5) ระบบต่างๆภายในอาคาร การใช้พลังงานของระบบต่างๆ ภายในอาคารขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของระบบซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามอุปกรณ์ที่เลือกใช้ การติดตั้งและการบำรุงรักษา ในกรณีที่การบำรุงรักษาที่ดีการสูญเสียพลังงานจะน้อยลง และเพื่อให้ประสิทธิภาพโดยรวมของอาคารคงที่โดยไม่เปลี่ยนแปลง (ลดลง) ไปตามเวลา

### 3.8.2.6 รายละเอียดในการป้อนข้อมูล

- 1) การป้อนข้อมูลรูปทรงอาคารในลักษณะ 3 มิติ โดยการสร้างองค์ประกอบขึ้นใหม่เพื่อใช้ในโปรแกรม และกำหนดให้องค์ประกอบที่สร้างขึ้นมีความสัมพันธ์ และสอดคล้องกับการป้อนข้อมูลในส่วนอื่นๆ ทุกพื้นที่อาคาร ซึ่งถูกกำหนดเป็น building location (ละติจูด ลองจิจูด) building coordination (ตำแหน่งที่ตั้งอาคารที่สัมพันธ์กับ building location) และ space coordination (ตำแหน่งของ space ที่สัมพันธ์กับ building coordination)
- 2) การป้อนข้อมูลที่เป็น Load ของอาคารซึ่งเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะอาคาร และการใช้งานอาคาร เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับสถาปนิกโดยตรง มีการแยกข้อมูลเป็นส่วนย่อยๆ ดังนี้
  - Header Information / Parameter
  - Function
  - Building Location
  - Design Day
  - Operation Schedule
  - Wall Parameter
  - Materials & Construction
  - Exterior Shade
  - Space Condition and Space
  - Exterior Wall (Roof)
  - Trombe Walls
  - Windows & Door
  - Interior Wall
  - Underground Wall (Floor)

- Building Resource
  - Report & Footer Information
- 3) การป้อนข้อมูลส่วน Systems ของอาคาร เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศในอาคาร มีการแยกข้อมูลเป็นส่วนย่อยๆ ดังนี้
- Header Information
  - Parameter
  - Function & Sub-Function
  - Operation Schedule
  - Zone-by-type, Zone-Control, Zone-Air, Zone-Fan และ Zone
  - System-by-type, System-Control, System-Air, System-Fan, System-Terminal
  - System-Fluid, System-Equipment และ System
  - Plant Assignment
  - Report & Footer Information
- 4) การป้อนข้อมูลส่วน Plant ของอาคาร ซึ่งเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบเครื่องจักรของระบบพลังงานในอาคาร มีการแยกข้อมูลเป็นส่วนย่อยๆ ดังนี้
- Header Information
  - Parameter
  - Operation Schedule
  - Plant-Equipment, Part-Load-Ratio และ Plant-Parameters
  - Equipment-Quad
  - Load Assignment
  - Load Management
  - Energy Resource
  - Plant Costs
  - Reference Cost
  - Report & Footer Information
- 5) การป้อนข้อมูลส่วน Economic ของอาคาร เป็นข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ แยกข้อมูลเป็นส่วนย่อยๆ ดังนี้
- Header Information
  - Parameter
  - Operation Schedule
  - Energy Cost & Component Cost
  - Charge Assignment
  - Economic Report
  - Footer Information

โดยทั่วไปสามารถแบ่งกรอบอาคารได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

- 1) ข้อมูลกรอบอาคารส่วนที่บ่งแสง
- 2) ข้อมูลกรอบอาคารส่วนโปร่งแสง

รายละเอียดของข้อมูลที่สำคัญ มีดังนี้

- ทิศทางของกรอบอาคาร
- มุมเอียงของกรอบอาคาร
- พื้นที่กรอบอาคาร
- คุณสมบัติต่างๆ ทางด้านพลังงานของวัสดุกรอบอาคาร
- ลักษณะ, ความกว้าง-ยาว, ระยะห่างจากช่องเปิดของอุปกรณ์บังแดด

### 3.8.2.7 ข้อจำกัดในการจำลองสภาพอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

- 1) ในการพิจารณาผลกระทบระยะยาวของการปรับปรุงตัวอาคาร หรือวิธีการจัดการที่ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงมาก ค่าที่ได้จากการประเมินอาจไม่ตรงตามค่าที่เกิดขึ้นจริง
- 2) ข้อมูลที่นำมาใส่ในโปรแกรมอาจจะได้มาจากข้อมูลที่ไม่ตรงตามความเป็นจริง ทั้งข้อมูลตัวอาคาร เช่น การใช้ข้อมูลที่ได้จากคู่มือวัสดุอาจมีค่าที่สูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริงเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศและข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมของอาคาร โดยทั่วไปมักจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากอาคารจริง โดยประมาณ 10-15% สำหรับการใส่โปรแกรม DOE-2, BLAST และ TRACE
- 3) การพิจารณาวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงอาคารหลายวิธีร่วมกัน อาจไม่ได้รับผลได้อย่างเต็มที่ เช่น หากผู้ออกแบบเลือกวิธีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร 2 วิธีที่ประเมินเบื้องต้นว่าแต่ละวิธีสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ร้อยละ 10 ในแต่ละวิธี แต่เมื่อนำมาใช้ร่วมกัน อาจเพิ่มประสิทธิภาพได้ไม่ถึงร้อยละ 20 ก็ได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ประเมินได้ยาก

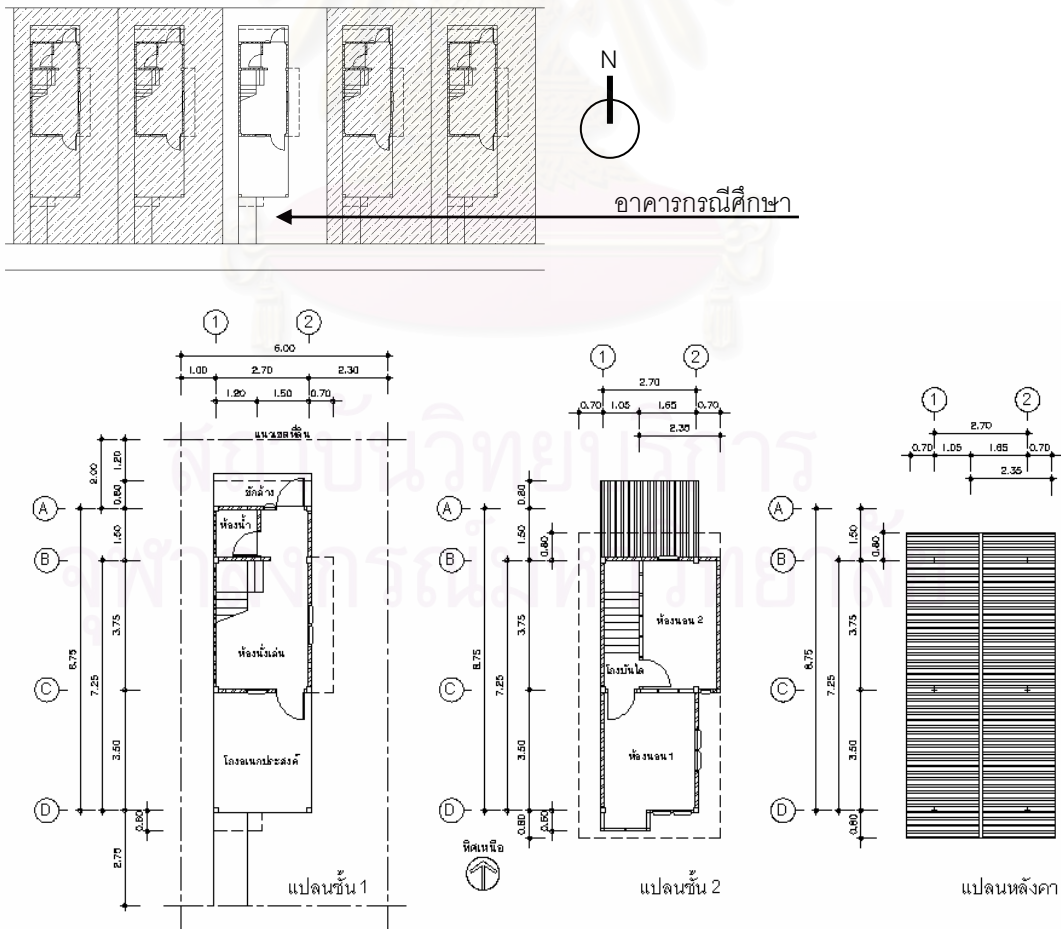
## บทที่ 4

### รายละเอียดอาคารกรณีศึกษา และการวิเคราะห์อาคาร

#### 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา

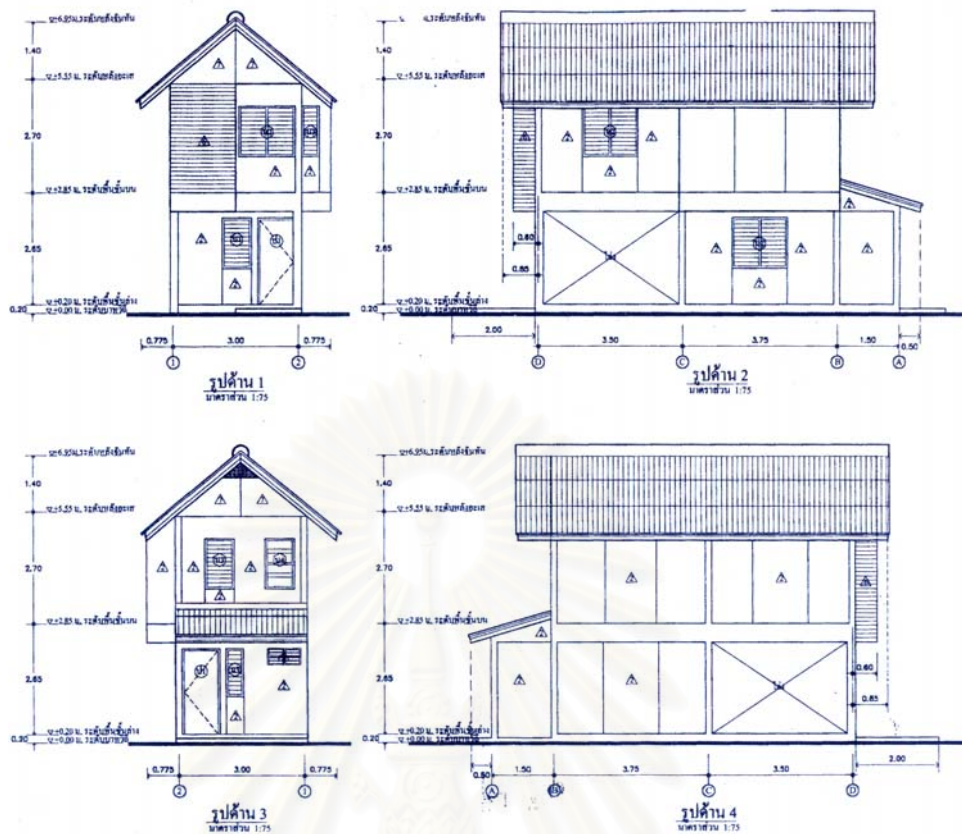
##### 4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของอาคาร

การศึกษาแนวทางการออกแบบปรับปรุงบ้านเื้อออาทร เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพนี้ ได้ทำการศึกษากายในโครงการหมู่บ้านเื้อออาทร ซึ่งตั้งอยู่บริเวณกิโลเมตรที่ 4 ถนนคลองหลวง-คูคต (ถนนเลียบคลอง 3) หมู่ 3 ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี เป็นอาคารประเภทบ้านพักอาศัยเดี่ยว 2 ชั้น 2 ห้องนอน 1 ห้องน้ำ ขนาดพื้นที่ใช้สอย 46.85 ตารางเมตร บนพื้นที่ดิน 21 ตารางวา อาคารตั้งห่างจากอาคารด้านข้างทั้งสองด้านๆละประมาณ 3.30 ม. และเป็นอาคารระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติทั้งหลัง โดยหน้าอาคารหันไปทางทิศใต้ องค์ประกอบโครงสร้างพื้นฐานของอาคารเป็นระบบเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก หลังคากระเบื้องลูกฟูกลอนเล็ก ชายคายื่น 0.70 เมตรรอบอาคาร ชั้นล่างมีประโยชน์ใช้สอยเป็นโรงจอดรถ 1 ห้องนั่งเล่น และห้องน้ำ ส่วนชั้นบนเป็นส่วนห้องนอนทั้ง 2 ห้อง ซึ่งการศึกษานี้ได้ดำเนินการด้วยการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลอาคาร แล้วนำมาจำลองสภาพการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งวิเคราะห์สภาพปัญหาและเสนอแนวทางเลือกสำหรับเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคาร



ภาพที่ 4.1 แสดงผังบริเวณโดยรอบ ผังพื้นที่ 1, 2 และหลังคาอาคารกรณีศึกษา





ภาพที่ 4.2 แสดงแบบรูปด้านอาคารกรณีศึกษา



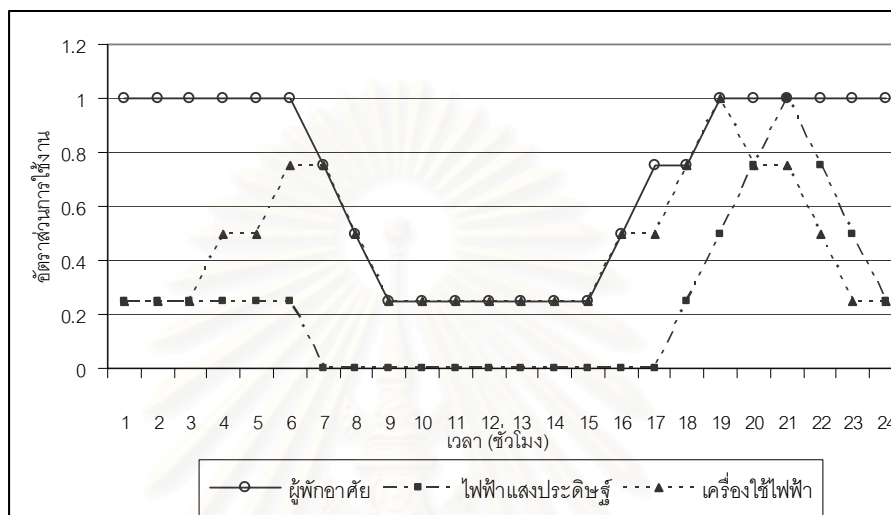
ภาพที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายหน้าและหลังอาคารกรณีศึกษา

ซึ่งอาคารกรณีศึกษาสามารถจำแนกพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร ตามลำดับชั้นและลักษณะห้องได้ดังนี้

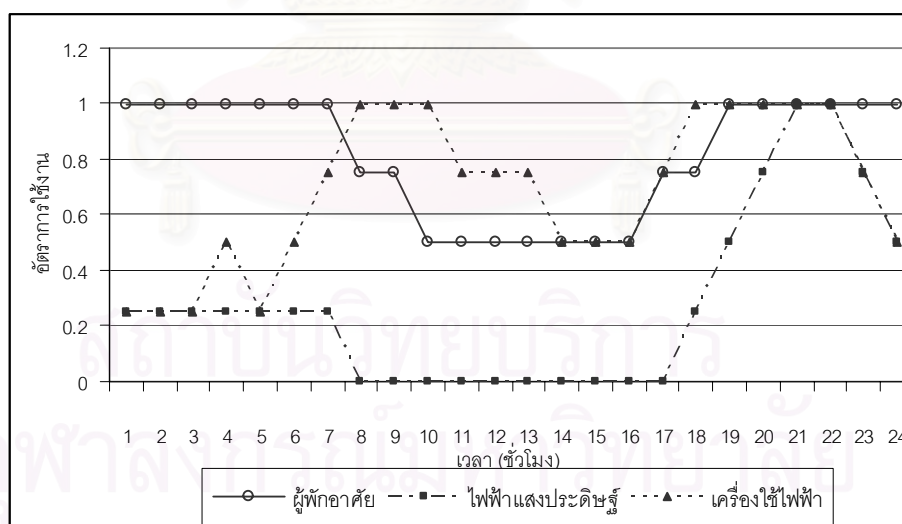
ชั้นที่ 1	โถงเนกประสงค์	ขนาด	9.65	ตารางเมตร
	ห้องนั่งเล่น	ขนาด	12.50	ตารางเมตร
	ห้องน้ำ	ขนาด	1.80	ตารางเมตร
ชั้นที่ 2	โถงบันได	ขนาด	3.75	ตารางเมตร
	ห้องนอน 1	ขนาด	10.35	ตารางเมตร
	ห้องนอน 2	ขนาด	8.80	ตารางเมตร
	รวมพื้นที่ใช้สอย		46.85	ตารางเมตร

#### 4.1.2 ลักษณะพฤติกรรมการใช้งานของผู้พักอาศัย ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้า

อาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารบ้านพักอาศัยเดี่ยว 2 ชั้นสำหรับ 1 ครอบครัว ครัวเรือน ครัวเรือนละ 2-4 คน ซึ่งสามารถจำแนกลักษณะการใช้งานอาคารของผู้พักอาศัย ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่ได้จาก การสัมภาษณ์ จำแนกช่วงตลอด 24 ชั่วโมงเป็น 2 รูปแบบ คือ การใช้งานในช่วงวันธรรมดา (จันทร์-ศุกร์) และการใช้งานในช่วงวันหยุด (เสาร์-อาทิตย์) ดังแผนภูมิต่อไปนี้



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงสรุปตารางการใช้งานของผู้พักอาศัย ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าในช่วงวันธรรมดา (จันทร์-ศุกร์)

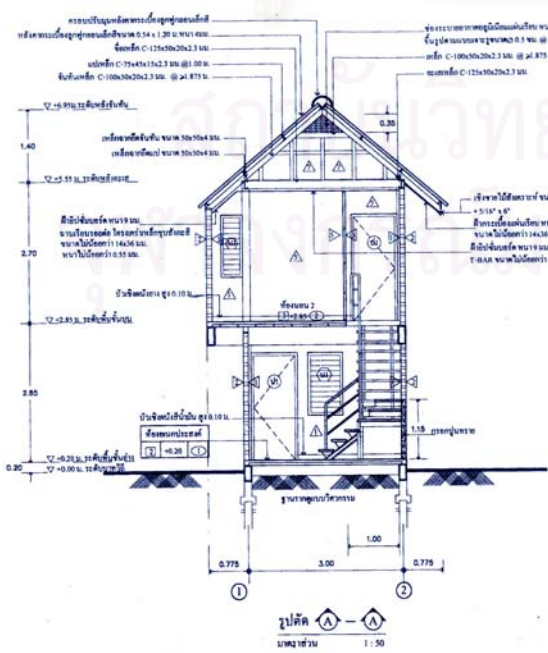


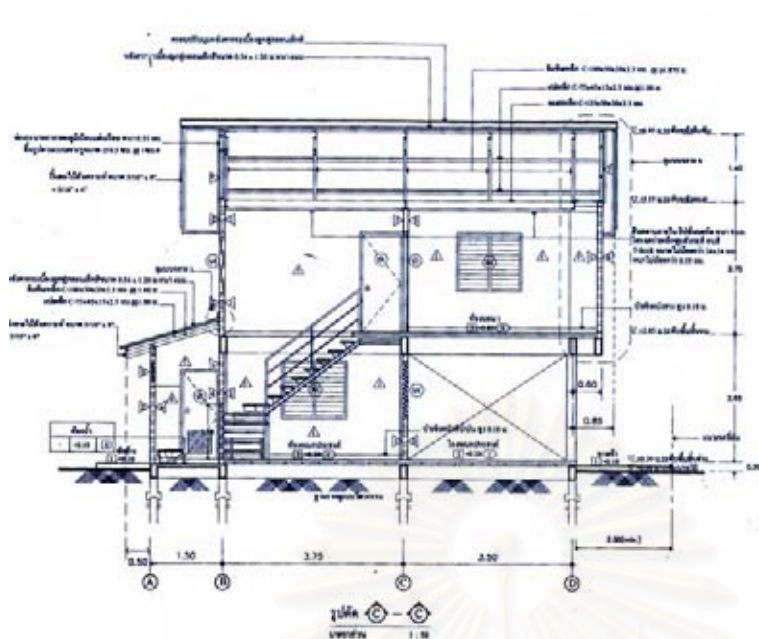
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงสรุปตารางการใช้งานของผู้พักอาศัย ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าในช่วงวันหยุด (เสาร์-อาทิตย์)

4.1.3 รายละเอียดองค์ประกอบอาคาร

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดองค์ประกอบอาคาร

ประเภท	ตำแหน่ง	รายละเอียด
โครงสร้างอาคาร	-	โครงสร้างระบบเสาและคานหล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก
พื้น	ชั้น 1	พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 เมตร วางบนคาน (slab on beam) ปูกระเบื้องผิวมันขนาด 8 x 8 นิ้ว
	ชั้น 2	พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 เมตร วางบนคาน (slab on beam) ปูกระเบื้องพี.วี.ซี. ขนาด 8 x 8 นิ้ว
ผนัง	ผนังภายนอก	ผนังก่อคอนกรีตบล็อก ขนาด 0.19x0.39x0.07 ม. ผิวฉาบปูนเรียบทาสีขาว
	ผนังภายนอก	ผนังภายนอกไม้สังเคราะห์ที่ขึ้นเกล็ด 1" ภายในกรุแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 12 มม. โครงเค่าเหล็กชุบสังกะสี ผิวฉาบเรียบทาสีขาว
	ผนังภายใน	ผนังแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 12 มม. กรู 2 หน้า โครงเค่าเหล็กชุบสังกะสี ผิวฉาบเรียบทาสีขาว
ฝ้าเพดาน	ฝ้าภายนอก	ฝ้ากระเบื้องแผ่นเรียบ โครงเค่าเหล็กชุบสังกะสี
	ฝ้าภายใน	ฝ้าเพดานแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. โครงเค่าอลูมิเนียม T-bar @ 0.60x0.60 ม. ปูฉนวนกันความร้อนใยแก้วหนา 4 นิ้ว บนฝ้า
หลังคา	-	โครงหลังคาเหล็กทาสีกันสนิม มุงด้วยกระเบื้องลูกฟูกลอนเล็ก ขนาด 1.20 ม. สี่ลีสู่
บานประตู	-	บานประตูไม้อัดยางชนิดภายนอก บานเปิดเดี่ยว วงกบเหล็ก
หน้าต่าง	-	หน้าต่างบานเกล็ด กระฉากใสหนา 5 มม. ติดฟิล์มสีดำ วงกบเหล็ก สูงจากระดับพื้น 0.75 ม.



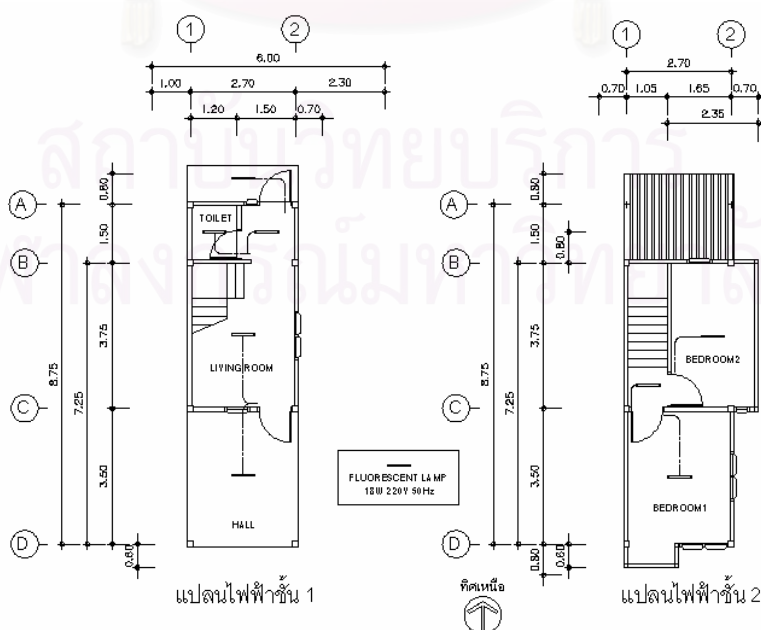


ภาพที่ 4.4 แสดงแบบรูปตัด ชั้นตอนและวัสดุการก่อสร้างอาคารกรณีศึกษา

## 4.2 ข้อมูลการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร

### 4.2.1 ระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ที่ใช้ในอาคาร

ระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ที่ใช้ในอาคารทั้งหลังเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดครอบหลอดด้วยพลาสติกฝ้า ติดยึดฝ้าเพดาน ไม่มีแผงสะท้อนแสง ขนาด 18 วัตต์ พร้อมบัลลาสต์ขนาด 10 วัตต์ จำนวน 8 ชุด/หลัง การติดตั้งดวงโคมแสงประดิษฐ์ในแต่ละชั้นเป็นดังรูปที่ 4.5 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงประดิษฐ์รวมภายในอาคารเป็น 224 วัตต์ ซึ่งสามารถนำปริมาณพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงประดิษฐ์มาคิดค่าเฉลี่ยต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดคิดเป็น 4.8 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายอนุรักษ์พลังงานกำหนดไว้ให้ไม่เกิน 16 วัตต์ต่อตารางเมตร



ภาพที่ 4.5 แสดงแบบผังไฟฟ้าอาคารกรณีศึกษา

#### 4.2.2 ระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร

เนื่องจากอาคารที่ทำการศึกษาเป็นอาคารประเภทบ้านพักอาศัย ซึ่งมีการใช้งานอุปกรณ์อย่างมากมายหลากหลายชนิดและขนาด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ขั้นพื้นฐานเพื่ออำนวยความสะดวกที่ใช้กันภายในบ้านพักอาศัย เช่น โทรทัศน์ ตู้เย็น พัดลม เครื่องทำน้ำร้อน เป็นต้น โดยสามารถสรุปปริมาณการใช้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารโดยเฉลี่ยดังตารางที่ 4.2 ปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าในระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดภายในอาคารคือ 4,231 วัตต์

ตารางที่ 4.2 แสดงชนิดและปริมาณไฟฟ้าในระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร

ชนิดเครื่องใช้ไฟฟ้า	ขนาด	จำนวน	จำนวนวัตต์
ตู้เย็น	4.5 ลบ.ฟุต	1	65
พัดลม	12"	1	45
พัดลม	16"	1	68
โทรทัศน์	20"	1	63
เครื่องเสียง	-	1	40
เตารีด	-	1	750
หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	1.5 ลิตร	1	600
เครื่องทำน้ำร้อน	-	1	2,000
กระติกน้ำร้อน	2.4 ลิตร	1	600
<b>รวม</b>			<b>4,231</b>

#### 4.2.3 ปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคาร

เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารจึงสามารถจำแนกได้เป็น 2 ส่วน คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้แสงประดิษฐ์ภายในอาคาร และเพื่ออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร โดยสามารถสรุปความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดังต่อไปนี้

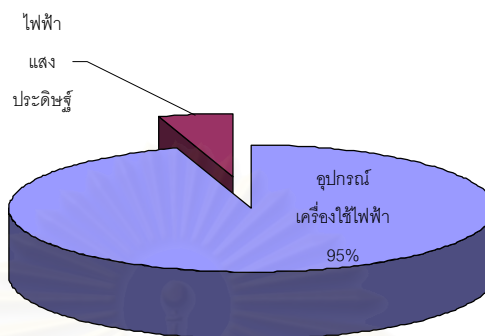
ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคาร

ชนิดเครื่องใช้ไฟฟ้า	ขนาด	จำนวน	จำนวนวัตต์	จำนวนหน่วยที่ใช้ใน 1 ชั่วโมง	จำนวนชั่วโมงที่ใช้ต่อวัน	จำนวนหน่วยที่ใช้ต่อเดือน(kw)	ค่าไฟฟ้าต่อเดือน(บาท)
ตู้เย็น	4.5 ลบ.ฟ	1	65	0.065	24	31.2	50
พัดลม	12"	1	45	0.045	8	10.8	17
พัดลม	16"	1	68	0.068	8	16.3	26
โทรทัศน์	20"	1	63	0.063	6	11.3	18
เครื่องเสียง	-	1	40	0.04	5	6	10
เตารีด	-	1	750	0.75	1	22.5	36
หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	1.5 ลิตร	1	600	0.6	1	18	29
เครื่องทำน้ำร้อน	-	1	2,000	2	1	60	96
กระติกน้ำร้อน	2.4 ลิตร	1	600		8 (ต้ม 20 นาที 2 ครั้ง และต้ม 3 นาที/ชม.)	18	29
หลอดฟลูออโรเรสเซนต์	18+10	8	224	0.224	5	33.6	54
<b>รวม</b>			<b>4455</b>			<b>227.7</b>	<b>365</b>

ที่มา : เอกสารเผยแพร่ข้อเสนอแนะการประหยัดพลังงานในครัวเรือน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

หมายเหตุ 1. คำนวนจากค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของผู้ใช้ประเภทบ้านพักอาศัยที่ 200 หน่วยต่อเดือน คือ หน่วยละ 1.60 บาท และ 30 วันต่อเดือน

2. อัตราค่าไฟฟ้าใช้อัตราค่าไฟฟ้าซึ่งใช้ทั่วประเทศ ประกาศใช้เมื่อวันที่ 1 มกราคม 2540



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความต้องการไฟฟ้าภายในอาคาร

#### 4.3 การวิเคราะห์ระดับสภาวะน่าสบายในอาคารกรณีศึกษา

จากการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านอุณหภูมิภายในอาคาร นำมาเปรียบเทียบกับอาคารที่ทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (calibrated building simulation) ดังจะแสดงในข้อ 4.6 นั้น จึงนำอาคารที่จำลองได้มาศึกษาทางด้านสภาวะน่าสบายตลอดทั้งปี โดยมีผู้ศึกษาทางด้านสภาวะน่าสบายและกำหนดเกณฑ์ระดับสภาวะน่าสบายอยู่หลากหลายด้วยกัน เช่น ASHRAE ได้กำหนดระดับสภาวะน่าสบายไว้ที่ 22.2-29°C, Victor Olgyay กำหนดไว้ที่ 22-27°C, Baruch Givoni กำหนดไว้ที่ 26-27°C และ John Franklin Busch กำหนดไว้ที่ 26.1-31°C เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้สรุปเลือกระดับสภาวะน่าสบายของ John Franklin Busch เป็นเกณฑ์ ซึ่งอยู่ที่ 26.1-31°C เนื่องจากเป็นระดับที่มีความเหมาะสมและเป็นการศึกษาในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย การศึกษาทางด้านสภาวะน่าสบายของอาคารกรณีศึกษานี้ ได้ศึกษาจากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 3 ห้องภายในอาคารคือ ห้องนั่งเล่น ห้องนอน1 และห้องนอน2 และได้ปรับอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์(calibration)ให้อยู่ในสภาพที่คล้ายคลึงกับการพักอาศัยจริง ซึ่งมีการเปิด-ปิดหน้าต่างเพื่อระบายอากาศเป็นช่วงเวลาของแต่ละห้องตามความเป็นจริงทางพฤติกรรมผู้พักอาศัยอาคารที่ได้เก็บข้อมูลมาจากการสัมภาษณ์ผู้ใช้อาคาร สามารถจำแนกได้เป็นการระบายอากาศช่วงกลางวัน(day-ventilation) ซึ่งเปิดในห้องนั่งเล่นชั้นล่างเวลา 08.00-20.00 น. และการระบายอากาศช่วงกลางคืน (night-ventilation) ซึ่งจะเกิดจากการเปิดหน้าต่างชั้นบนห้องนอน1และห้องนอน2 ในช่วงเวลา 20.00-08.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้พักอาศัยได้เข้าไปใช้สอยในส่วนนี้ โดยได้กำหนดวันที่ทำการศึกษาเป็นวันตัวแทนการศึกษาสภาวะน่าสบายตลอดทั้งปี เป็น 4 วัน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดและต่ำสุดของปี และวันตัวแทนที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว ดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 โดยวันดังกล่าวได้มาจากผลการประเมินของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE2 ที่ได้วิเคราะห์ออกมาโดยใช้สภาพอากาศของปี พ.ศ.2542 เนื่องจากโปรแกรมมีข้อจำกัดทางด้านฐานข้อมูลสภาพอากาศที่มีอยู่ในโปรแกรมและผลคำนวณที่นำมาใช้เปรียบเทียบทางด้านสภาวะน่าสบาย ที่สามารถคำนวณได้เฉพาะในส่วนของอุณหภูมิภายใน อุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิว (MRT) ที่จะนำมาประเมินในเรื่องระดับสภาวะน่าสบายโดยได้ผลการวิเคราะห์ดังลำดับต่อไป

ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละฤดูของประเทศไทย

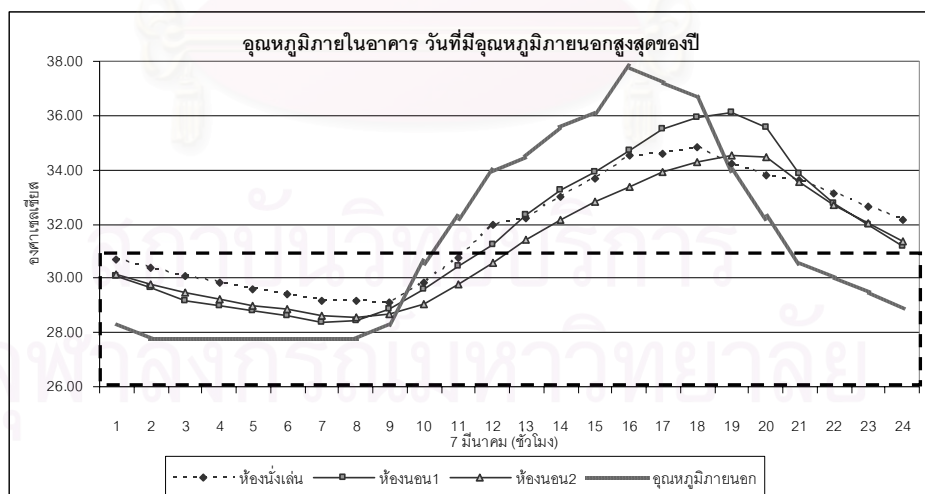
ฤดู	ช่วงฤดู	ระยะเวลา (วัน)	อุณหภูมิองศาเซลเซียส (Dry Bulb) ปี พ.ศ.2542		
			ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยสูงสุด	ค่าเฉลี่ยต่ำสุด
หนาว	1 พฤศจิกายน - 15 กุมภาพันธ์	107	26.8	31.1	23.2
ร้อน	16 กุมภาพันธ์ - 31 พฤษภาคม	106	29.5	33.7	26.3
ต้นฝน	1 มิถุนายน - 15 สิงหาคม	76	29.3	32.7	26.6
ปลายฝน	16 สิงหาคม - 31 ตุลาคม	77	28.4	32.5	25.4

ที่มา : เอกสารเผยแพร่ข้อเสนอแนะการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

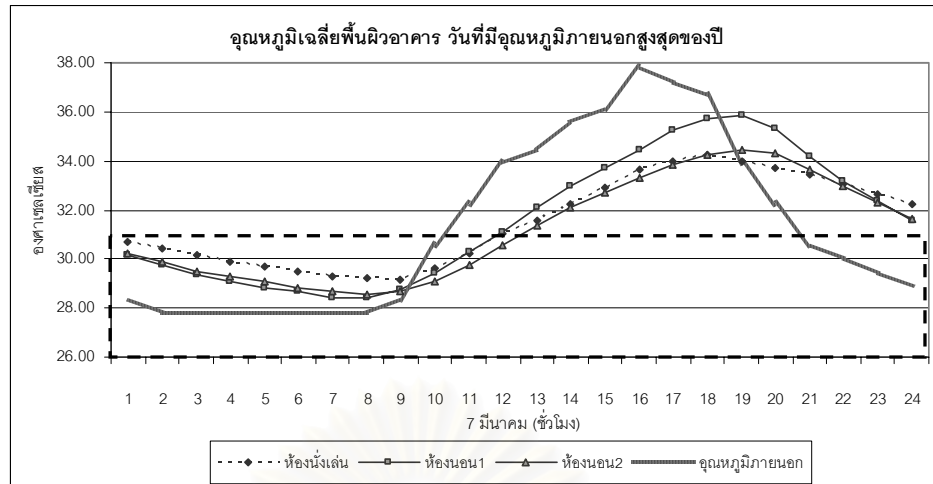
ตารางที่ 4.5 แสดงวันที่เลือกมาเป็นวันตัวแทนในการประเมินระดับสภาวะนำสบายตลอดทั้งปี

คุณสมบัติของวันตัวแทน	วันตัวแทน	อุณหภูมิองศาเซลเซียส (Dry Bulb) ปี พ.ศ.2542		
		ค่าเฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี	7 มีนาคม	31.3	37.8	27.8
วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี	25 ธันวาคม	18.7	24.4	13.3
วันที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูร้อน	17 กุมภาพันธ์	29.4	33.9	26.1
วันที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูหนาว	19 พฤศจิกายน	27.1	31.1	23.3

4.3.1 การวิเคราะห์สภาวะนำสบายในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี



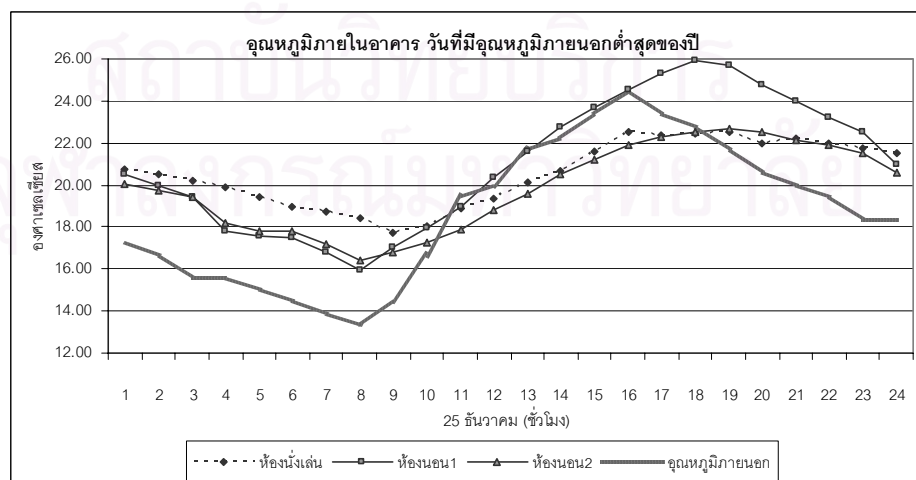
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิภายในอาคาร ในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม)



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคาร วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม)

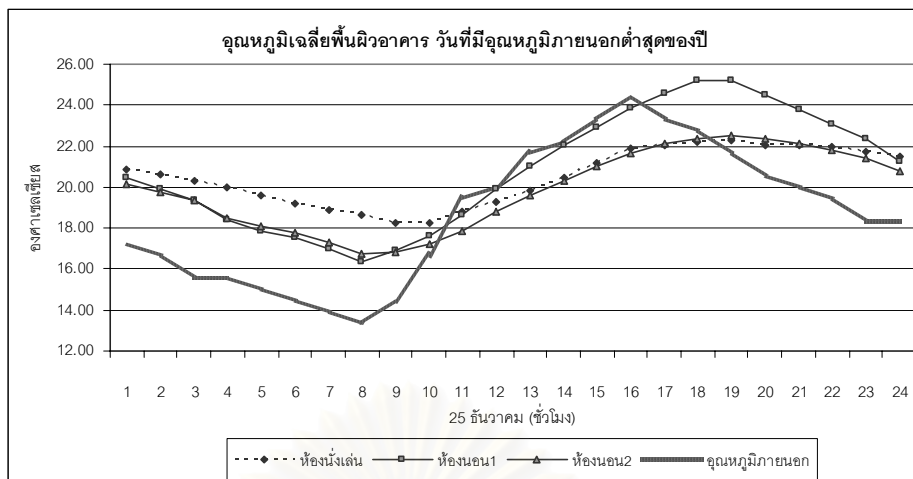
จากแผนภูมิที่ 4.4 และ 4.5 แสดงอุณหภูมิภายในอาคารและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคาร วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม) ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูร้อน สามารถวิเคราะห์สภาวะน่าสบายโดยจำแนกตามช่วงเวลาที่มีการใช้สอยในแต่ละพื้นที่ คือช่วงเวลากลางวัน (08.00-20.00 น.) ที่มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ห้องนั่งเล่นชั้นล่าง ซึ่งมีอุณหภูมิภายในสูงสุดที่  $35^{\circ}\text{C}$  ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด  $3^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิภายในจะสูงสุดในช่วงเวลา 18.00 น. โดยเกิดภายหลังจากภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง สภาวะน่าสบายในช่วงกลางวันที่มีการใช้สอยในห้องนั่งเล่นชั้นล่างนี้ จะมีอุณหภูมิที่อยู่เหนือระดับสภาวะน่าสบายประมาณ 8 ชั่วโมง ช่วงเวลา 12.00-20.00 น. ส่วนช่วงกลางคืน (20.00-08.00 น.) มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ในส่วนชั้นบนห้องนอน1 และ2 ซึ่งมีอุณหภูมิภายในต่ำสุดที่ประมาณ  $29^{\circ}\text{C}$  ทั้งสองห้อง ซึ่งจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ  $1^{\circ}\text{C}$  โดยที่อุณหภูมิภายในจะลงต่ำสุดในช่วงเวลา 08.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด สภาวะน่าสบายในช่วงกลางคืนที่มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ชั้นบนห้องนอน1 และ2นี้ จะมีอุณหภูมิภายในที่อยู่เหนือระดับสภาวะน่าสบายประมาณ 4 ชั่วโมง เวลา 20.00-24.00 น. ส่วนอีก 8 ชั่วโมงที่อยู่ในระดับสภาวะน่าสบายช่วง 01.00-08.00 น. จะมีอุณหภูมิภายในที่ค่อยๆลดต่ำลง จนต่ำสุดในช่วง 08.00 น. ของอีกวัน

#### 4.3.2 การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิภายในอาคาร วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม)

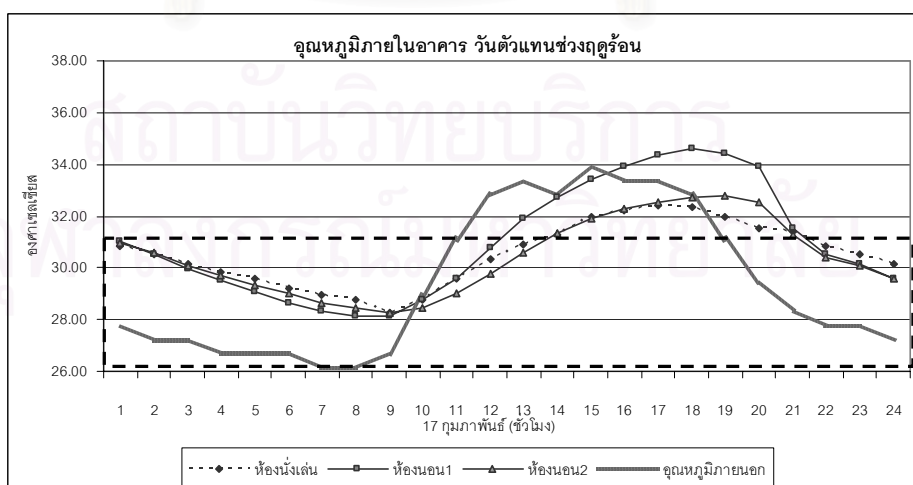




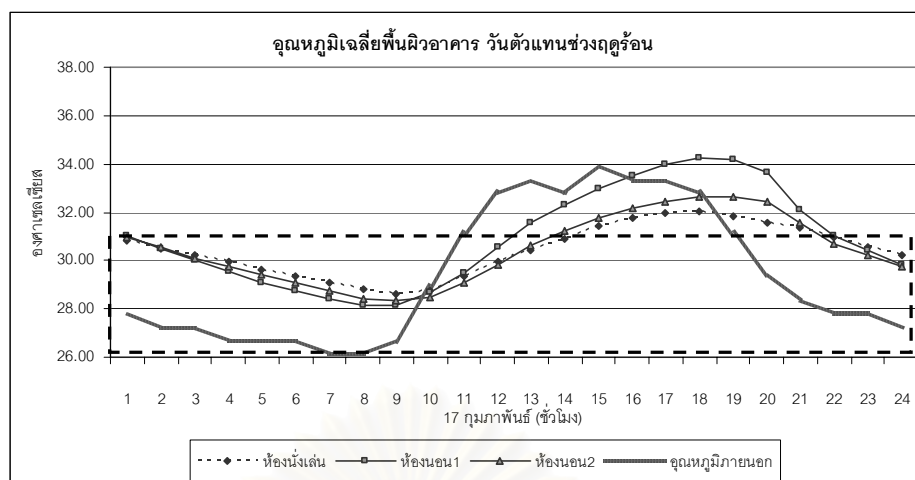
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นที่ผิวอาคาร วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม)

จากแผนภูมิที่ 4.6 และ 4.7 แสดงอุณหภูมิภายในอาคารและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นที่ผิวอาคาร วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม) ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูหนาว สามารถวิเคราะห์สภาวะนำสบายโดยจำแนกตามช่วงเวลาที่มีการใช้สอยในแต่ละพื้นที่ คือช่วงเวลากลางวัน (08.00-20.00 น.) ที่มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ห้องนั่งเล่นชั้นล่าง ซึ่งมีอุณหภูมิภายในสูงสุดที่ 22.5°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด 2°C และอุณหภูมิภายในจะสูงสุดช่วงเวลา 19.00 น. โดยเกิดภายหลังจากภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง สภาวะนำสบายในช่วงกลางวันที่มีการใช้สอยในห้องนั่งเล่นชั้นล่างนี้ จะมีอุณหภูมิที่อยู่ต่ำกว่าระดับสภาวะนำสบายตลอดทั้งช่วงกลางวัน ส่วนช่วงกลางคืน (20.00-08.00 น.) มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ในส่วนชั้นบนห้องนอน1 และ2 ซึ่งมีอุณหภูมิภายในต่ำสุดที่ประมาณ 16°C ทั้งสองห้อง ซึ่งจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2°C โดยที่อุณหภูมิภายในจะลงต่ำสุดในช่วงเวลา 08.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับกับอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด สภาวะนำสบายในช่วงกลางคืนที่มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ชั้นบนห้องนอน1 และ2นี้ จะมีอุณหภูมิภายในที่อยู่ต่ำกว่าระดับสภาวะนำสบายค่อนข้างมาก

4.3.3 การวิเคราะห์สภาวะนำสบายในวันที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูร้อน



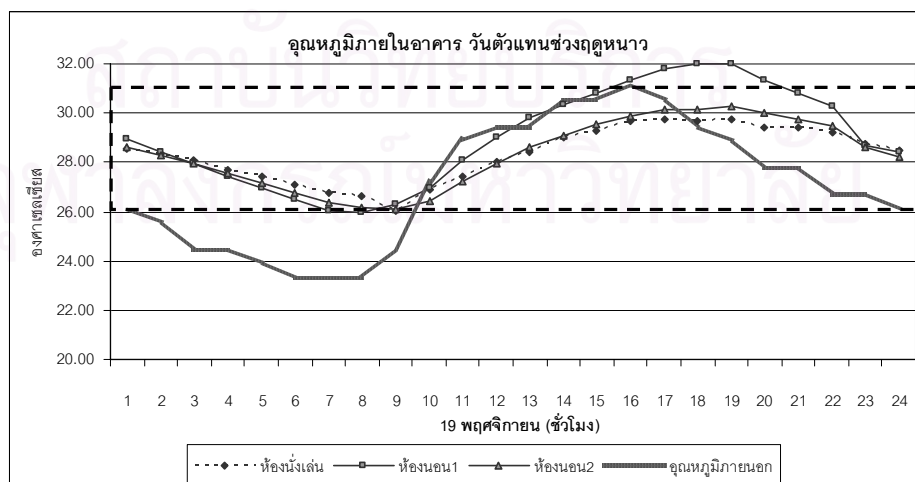
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิภายในอาคาร วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์)



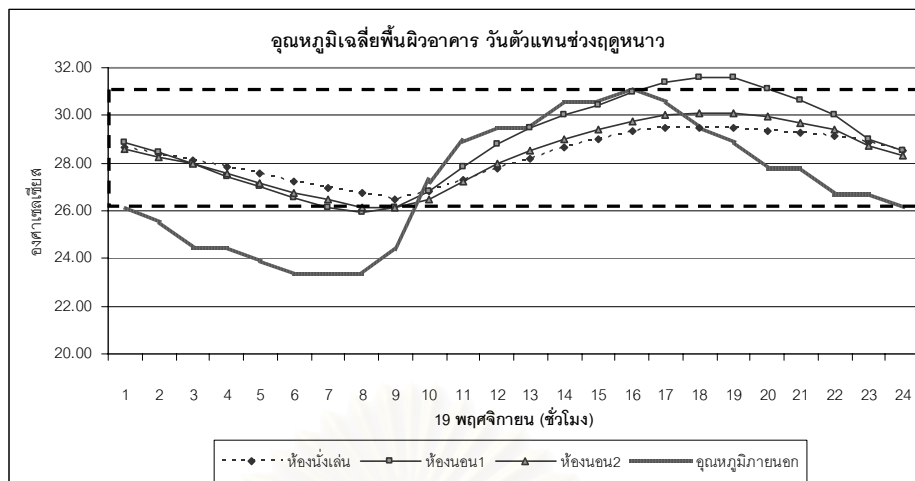
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคาร วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์)

จากแผนภูมิที่ 4.8 และ 4.9 แสดงอุณหภูมิภายในอาคารและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคาร วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์) สามารถวิเคราะห์สภาวะน่าสบายโดยจำแนกตามช่วงเวลาที่มีการใช้สอยในแต่ละพื้นที่ คือช่วงเวลากลางวัน (08.00-20.00 น.) ที่มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ห้องนั่งเล่นชั้นล่าง ซึ่งมีอุณหภูมิภายในสูงสุดที่  $32^{\circ}\text{C}$  ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด  $2^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิภายในจะสูงสุดช่วงเวลา 17.00 น. โดยเกิดภายหลังจากภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง สภาวะน่าสบายในช่วงกลางวันที่มีการใช้สอยในห้องนั่งเล่นชั้นล่างนี้ จะมีอุณหภูมิที่อยู่เหนือระดับสภาวะน่าสบายประมาณ 6 ชั่วโมง ช่วงเวลา 14.00-20.00 น. ส่วนช่วงกลางคืน (20.00-08.00 น.) มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ในส่วนชั้นบนห้องนอน1 และ2 ซึ่งมีอุณหภูมิภายในต่ำสุดที่ประมาณ  $28^{\circ}\text{C}$  ทั้งสองห้อง ซึ่งจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ  $2^{\circ}\text{C}$  โดยที่อุณหภูมิภายในจะลดต่ำสุดในช่วงเวลา 08.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเดียวกันกับอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด สภาวะน่าสบายในช่วงกลางคืนที่มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ชั้นบนห้องนอน1 และ2นี้ จะมีอุณหภูมิภายในที่อยู่เหนือระดับสภาวะน่าสบายประมาณ 1 ชั่วโมง เวลา 20.00-21.00 น. ส่วนอีก 11 ชั่วโมงที่อยู่ในระดับสภาวะน่าสบายช่วง 22.00-08.00 น. จะมีอุณหภูมิภายในที่ค่อยๆลดต่ำลง จนต่ำสุดในช่วง 08.00 น. ของอีกวัน

#### 4.3.4 การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายในวันที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูหนาว



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิภายในอาคาร วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน)



แผนภูมิที่ 4.11 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคาร วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน)

จากแผนภูมิที่ 4.10 และ 4.11 แสดงอุณหภูมิภายในอาคารและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคาร วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน) สามารถวิเคราะห์สภาวะน่าสบายโดยจำแนกตามช่วงเวลาที่มีการใช้สอยในแต่ละพื้นที่ คือช่วงเวลากลางวัน (08.00-20.00 น.) ที่มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ห้องนั่งเล่นชั้นล่าง ซึ่งมีอุณหภูมิภายในสูงสุดที่  $30^{\circ}\text{C}$  ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด  $1^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิภายในจะสูงสุดช่วงเวลา 18.00 น. โดยเกิดภายหลังจากภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง สภาวะน่าสบายในช่วงกลางวันที่มีการใช้สอยในห้องนั่งเล่นชั้นล่างนี้ จะมีอุณหภูมิที่อยู่อยู่ในช่วงระดับสภาวะน่าสบายตลอดทั้งกลางวัน ส่วนช่วงกลางคืน (20.00-08.00 น.) มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ในส่วนชั้นบนห้องนอน1 และ2 ซึ่งมีอุณหภูมิภายในต่ำสุดที่ประมาณ  $26^{\circ}\text{C}$  ทั้งสองห้อง ซึ่งจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ  $3^{\circ}\text{C}$  โดยที่อุณหภูมิภายในจะลงต่ำสุดในช่วงเวลา 08.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเดียวกันกับอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด สภาวะน่าสบายในช่วงกลางคืนที่มีการใช้สอยพื้นที่ชั้นบนห้องนอน1 และ2นี้ จะมีอุณหภูมิภายในที่อยู่ในระดับสภาวะน่าสบายตลอดทั้งคืนเช่นกันกับช่วงกลางวัน

#### 4.3.5 สรุปผลการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายในอาคารกรณีศึกษา

จากผลการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายของอาคารกรณีศึกษา ด้วยการประเมินจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถสรุปช่วงระดับสภาวะน่าสบายภายในอาคาร โดยจำแนกเป็นช่วงเวลาตามพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่เป็น 2 ช่วง กล่าวคือ

ช่วงกลางวัน ที่มีพฤติกรรมใช้สอยพื้นที่ในส่วนชั้นล่าง ห้องนั่งเล่น เวลา 08.00-20.00 น. นั้น ในช่วงฤดูร้อน (16 กุมภาพันธ์ - 31 พฤษภาคม) จะมีช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายในเข้าสู่สภาวะน่าสบายโดยเฉลี่ยประมาณ 5 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 08.00-13.00 น. ส่วนช่วงเวลา 13.00-20.00 น. จะอยู่เหนือระดับสภาวะน่าสบาย โดยที่มีอุณหภูมิภายในสูงสุดต่ำกว่าภายนอกประมาณ  $2-3^{\circ}\text{C}$  ส่วนในช่วงฤดูหนาว (1 พฤศจิกายน - 15 กุมภาพันธ์) ห้องนั่งเล่นนี้จะมีอุณหภูมิภายในเข้าสู่สภาวะน่าสบายตลอดช่วงเวลาที่ใช้สอยพื้นที่ โดยที่อุณหภูมิภายนอกนั้นอยู่ในระดับสภาวะน่าสบายด้วย ซึ่งจะสูงกว่าอุณหภูมิภายในประมาณ  $1-1.5^{\circ}\text{C}$  โดยเฉลี่ยเฉพาะช่วงเวลาที่ใช้สอยพื้นที่นี้ หากพิจารณาอัตราส่วนจำนวนชั่วโมงเฉพาะช่วงกลางวันที่ใช้สอยพื้นที่นี้ (4,380 ชม./ปี) จะมีอัตราส่วนจำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบาย 2,921 ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 66.7 ของชั่วโมงที่ใช้สอยพื้นที่ต่อปี

ช่วงกลางวัน ที่มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ ชั้นบนห้องนอน 1 และ 2 เวลา 20.00-08.00 น. ในช่วงฤดูร้อน (16 กุมภาพันธ์ - 31 พฤษภาคม) จะมีช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายในเข้าสู่สภาวะนำสบายโดยเฉลี่ยประมาณ 10 ชั่วโมงต่อวัน เวลา 22.00-08.00 น. ของอีกวัน แต่ในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุด ช่วงเวลาที่เข้าสู่สภาวะนำสบาย จะเริ่มช่วง 01.00-08.00 น. เป็นเวลา 8 ชม. ซึ่งในช่วงฤดูร้อนจะมีอุณหภูมิภายในสูงกว่าภายนอกประมาณ 2°C โดยเฉลี่ย และจะต่ำสุดในช่วง 08.00 น. เช่นเดียวกับกับภายนอก ส่วนในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน - 15 กุมภาพันธ์) ตอนกลางวันที่ใช้สอยพื้นที่ดังกล่าวจะมีอุณหภูมิภายในอยู่ในระดับสภาวะนำสบายตลอดทั้งคืน หากพิจารณาอัตราส่วนจำนวนชั่วโมงเฉพาะช่วงกลางวันที่ใช้สอยพื้นที่ห้องนอน 1 และ 2 (4,380 ชม./ปี) จะมีอัตราส่วนจำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะนำสบาย 3,794 และ 3,790 ชั่วโมงตามลำดับ หรือคิดเป็นร้อยละ 86.6 และ 86.5 ของชั่วโมงที่ใช้สอยพื้นที่ต่อปีตามลำดับ

จากการวิเคราะห์สภาวะนำสบายภายในอาคารกรณีศึกษาทำให้ทราบว่า อาคารจะมีอุณหภูมิภายในที่อยู่เหนือระดับสภาวะนำสบาย เฉพาะในช่วงฤดูร้อนห้องนั่งเล่นชั้นล่างที่ใช้สอยในช่วงกลางวัน โดยสามารถสรุปเป็นตารางแสดงชั่วโมงที่อยู่ในสภาวะนำสบายได้ดังตารางที่ 4.6 เพื่อนำไปพิจารณาเปรียบเทียบระดับสภาวะนำสบายรายชั่วโมง ในการปรับปรุงองค์ประกอบอาคารอื่นจะกล่าวในบทต่อไป

ตารางที่ 4.6 แสดงจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิเข้าสู่สภาวะนำสบาย จำแนกตามห้อง

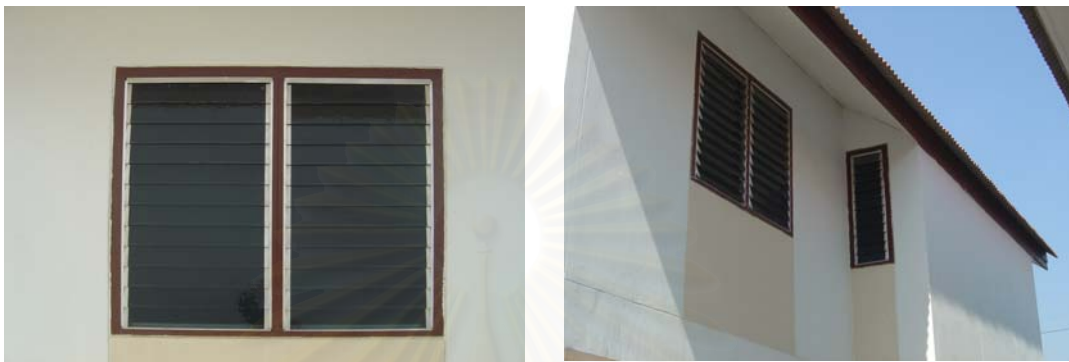
พื้นที่ ใช้สอย	รายละเอียด	เฉพาะช่วงเวลาที่ใช้สอย พื้นที่(4,380 ชม.)	ช่วงเวลาตลอดทั้งปี (8,760 ชม.)
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะนำสบาย	2,921 (08.00-20.00 น.)	6,672 (24 ชม./วัน)
	อัตราส่วนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะนำสบาย (%)	66.69	76.16
ห้องนอน1 ชั้นบน	จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะนำสบาย	3,794 (20.00-08.00 น.)	6,162 (24 ชม./วัน)
	อัตราส่วนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะนำสบาย (%)	86.62	70.34
ห้องนอน2 ชั้นบน	จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะนำสบาย	3,790 (20.00-08.00 น.)	6,701 (24 ชม./วัน)
	อัตราส่วนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะนำสบาย (%)	86.53	76.50

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.4 ข้อมูลการให้แสงสว่างภายในอาคาร

### 4.4.1 ลักษณะของช่องเปิดอาคาร

อาคารกรณีศึกษามีการเจาะช่องช่องเปิดอาคารทั้ง 3 ทิศของตัวอาคาร ยกเว้นด้านข้างทางทิศตะวันตกของตัวอาคาร ช่องเปิดทั้งหมดจะเป็นหน้าต่างบานเกล็ด วงกบเหล็ก กระจกหนา 5 มม. สูง 1.10 เมตร สูงจากระดับพื้น 0.75 เมตร มีลักษณะดังรูปที่ 4.6 สามารถสรุปชนิดของกระจกที่ใช้และพื้นที่ในแต่ละด้านได้ดังตาราง 4.7



ภาพที่ 4.6 แสดงลักษณะช่องเปิดอาคารกรณีศึกษา

ตารางที่ 4.7 สรุปลักษณะหน้าต่าง ชนิดกระจกและพื้นที่ ในอาคารกรณีศึกษา

ชั้นที่	ชนิดหน้าต่าง	ชนิดกระจก	พื้นที่ (ตารางเมตร)			
			เหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก
1	บานเกล็ด	กระจกใสติดฟิล์ม	0.33	1.21	0.605	0
2	บานเกล็ด	กระจกใสติดฟิล์ม	0.605	1.21	1.54	0
รวมทั้งสิ้น = 5.5 ตารางเมตร			0.935	2.42	2.145	0

### 4.4.2 การวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างภายในอาคารจากแสงธรรมชาติ

การวัดค่าระดับความส่องสว่างภายในอาคารกรณีศึกษานี้ ดำเนินการโดยใช้เครื่องมือวัดแสงลักซ์มิเตอร์ วัดค่าระดับความส่องสว่างภายในและภายนอกอาคาร ทำการวัดทั้ง 2 ชั้น จำนวน 3 ห้อง คือ ห้องนั่งเล่น ห้องนอน1 และห้องนอน2 เพื่อศึกษาการกระจายตัวของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านเข้ามาในอาคาร โดยวัดค่าความส่องสว่างของแสงที่ระดับความสูง 0.75 เมตร (ระดับทำงาน) จากพื้นห้องทุกๆระยะ 0.90 x 0.90 เมตร จากผนังริมห้อง โดยวัดค่าเป็นลักซ์ แล้วนำมาคำนวณเป็นค่า daylight factor (DF) ในแต่ละจุด โดยค่า DF ตามค่ามาตรฐาน CIE ที่มีค่า DF สำหรับบ้านพักอาศัยเฉลี่ย 0.6% (ค่าแสงที่วัดต้องไม่รวมแสงแดดด้วย)

#### ระดับค่าความส่องสว่างภายในอาคารชั้นล่าง ห้องนั่งเล่น

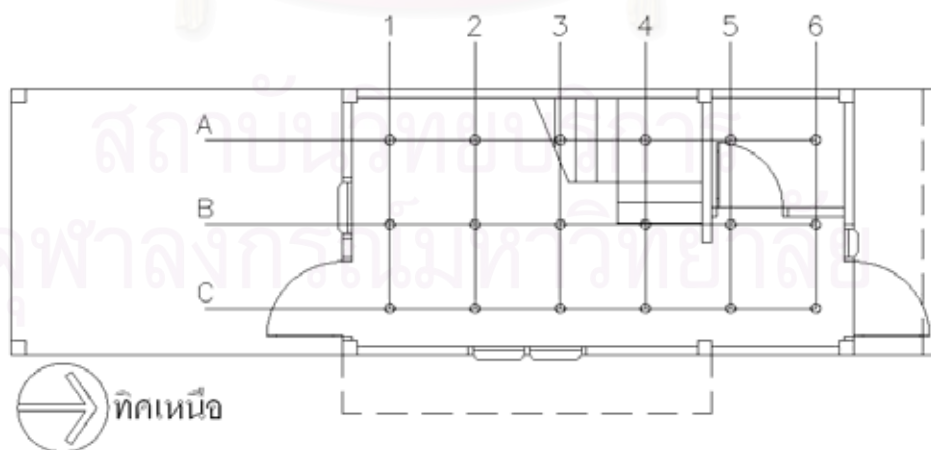
เนื่องจากห้องนั่งเล่นอยู่ทางทิศใต้ของตัวอาคาร ผนังภายนอกที่บมีการเจาะช่องแสงทั้ง 3 ด้านของตัวอาคารเป็นหน้าต่างบานเกล็ด ยกเว้นด้านข้างทิศตะวันตก ด้านหน้าหรือด้านทิศใต้ของห้องมีชายคา ซึ่งเป็นส่วนของห้องนอน1 ยื่นบัง 3.5 เมตร ส่วนด้านข้างทางทิศตะวันออกจะมีส่วนยื่นของชั้น 2 บังเป็นร่มเงาให้ ซึ่งเป็นห้องนอน2 ยื่น 0.70 เมตร ช่วยทำหน้าที่เป็นกันสาดให้ อีกทั้งด้านนี้ยังได้รับอิทธิพลของอาคารข้างเคียงซึ่งอยู่ห่างออกจากแนวหน้าต่างประมาณ 3.00 เมตร เป็นผนังที่บทาสีขาว ซึ่งทำให้เกิดการสะท้อนแสงสว่างเข้าสู่ภายในอาคาร ด้านหลังหรือทิศเหนือมีช่องหน้าต่างขนาด 0.30 x

1.10 เมตร ซึ่งถือว่าเป็นช่องที่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับพื้นที่ผนัง จากการตรวจสอบพบว่าแสงธรรมชาติสามารถผ่านเข้ามาในห้อง ซึ่งวัดได้ค่อนข้างดีและผ่านเกณฑ์มาตรฐานเกือบทุกระยะ ซึ่งมีค่า DF เฉลี่ยที่ 1.29% (ดูตารางที่ 4.8 และแผนภูมิที่ 4.12) แสงจะค่อยๆลดต่ำลงจนต่ำสุดในด้านทิศตะวันตกและบริเวณมุมภายในอาคาร ทั้งนี้เนื่องจากอาคารมีระยะห่างกับอาคารข้างเคียงที่ค่อนข้างน้อย สถาปนิกผู้ออกแบบจึงไม่ต้องการเปิดช่องเปิดนี้ เพื่อสร้างความเป็นส่วนตัวของแต่ละหลัง

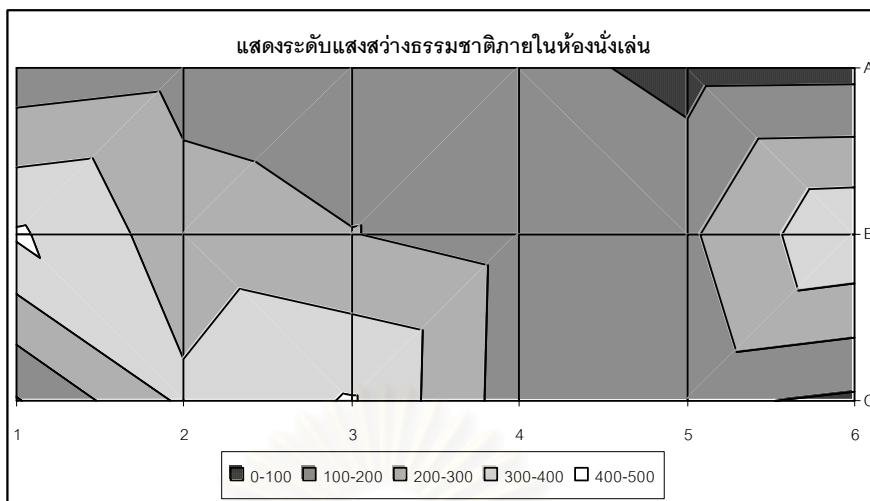
ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลค่าระดับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนั่งเล่น (ลักซ์)

จุดที่ (ห้องนั่งเล่น)		A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3
ค่าแสงสว่างภายใน (ลักซ์)	บันทึกข้อมูลครั้งที่1	135	168	138	150	62	65	340	250	210
	บันทึกข้อมูลครั้งที่2	130	159	136	143	62	67	487	245	196
	ค่าระดับแสงสว่างภายในเฉลี่ย	132.5	163.5	137	146.5	62	66	413.5	247.5	203
ค่าแสงสว่างภายนอก(ลักซ์)	บันทึกข้อมูลครั้งที่1	11500	11900	11530	12300	10700	12160	12220	12450	12500
	บันทึกข้อมูลครั้งที่2	17500	17430	17480	17620	17610	17450	17240	17550	17400
	ค่าระดับแสงสว่างภายนอกเฉลี่ย	14500	14665	14505	14960	14155	14805	14730	15000	14950
ค่าระดับ DF (%) เฉลี่ยรวม		0.91	1.11	0.94	0.98	0.44	0.45	2.81	1.65	1.36
ค่าระดับแสงประดิษฐ์		58	67	51	60	94	98	72	135	78

จุดที่ (ห้องนั่งเล่น)		B4	B5	B6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
ค่าแสงสว่างภายใน (ลักซ์)	บันทึกข้อมูลครั้งที่1	139	182	409	86	310	462	142	116	83
	บันทึกข้อมูลครั้งที่2	168	186	370	99	326	355	146	123	81
	ค่าระดับแสงสว่างภายในเฉลี่ย	153.5	184	389.5	92.5	318	408.5	144	119.5	82
ค่าแสงสว่างภายนอก(ลักซ์)	บันทึกข้อมูลครั้งที่1	11700	12700	12740	11800	11250	11900	18540	12150	12300
	บันทึกข้อมูลครั้งที่2	17350	17270	17340	17500	17540	17430	17350	17400	17450
	ค่าระดับแสงสว่างภายนอกเฉลี่ย	14525	14985	15040	14650	14395	14665	17945	14775	14875
ค่าระดับ DF (%) เฉลี่ยรวม		1.06	1.23	2.59	0.63	2.21	2.79	0.80	0.81	0.55
ค่าระดับแสงประดิษฐ์		52	74	76	55	65	52	44	75	72



ภาพที่ 4.7 แสดงแผนผังการวัดความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนั่งเล่น



แผนภูมิที่ 4.12 แสดงข้อมูลค่าระดับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนั่งเล่น (ลักซ์)

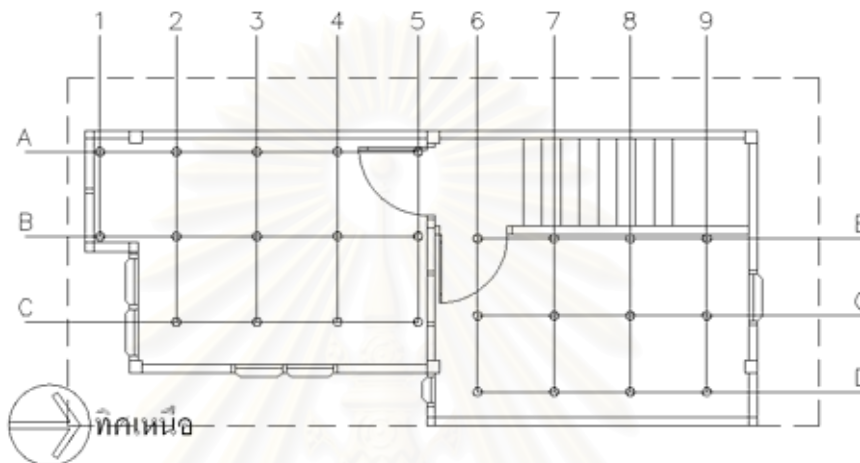
**ระดับค่าความส่องสว่างภายในอาคารชั้นบน ห้องนอน1**

ห้องนอน1 นี้อยู่ทางด้านหน้าหรือทิศใต้ของตัวอาคาร ซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ค่อนข้างมาก เนื่องจากผนังภายนอกอาคารเป็นผนังทึบ มีการเจาะช่องเปิด 2 ด้าน ซึ่งอยู่ทางทิศใต้และทิศตะวันออกของห้อง ช่องเปิดทั้งสองด้านนี้มีขนาด 0.55 x 1.10 เมตร ด้านละ 2 ช่องเปิด ซึ่งเป็นช่องเปิดขนาดใหญ่ มีชายคายื่น 0.70 เมตรในด้านทิศตะวันตก ส่วนทางทิศใต้เนื่องจากเป็นด้านหน้าของอาคารและเป็นส่วนหน้าจั่ว จึงได้ออกแบบให้มีกรงยื่นแผงหน้าจั่วเพื่อช่วยเป็นกันสาดบังแสงแดดออกมา 0.60 เมตร ทำให้แสงธรรมชาติที่เข้ามาในห้องนี้เพียงพอสำหรับการใช้งาน ค่า DF ที่วัดได้มากที่สุดคือ 8.70% และน้อยสุด 2.29% ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (ดูตารางที่ 4.9 และแผนภูมิที่ 4.13) แสงธรรมชาติที่ส่องเข้ามาจากนั้นนอกจากช่องเปิดด้านหน้าอาคารจะเป็นหน้าจั่วแล้วนั้น ช่องเปิดทางด้านข้าง ยังได้รับแสงสะท้อนจากอาคารข้างเคียง ซึ่งเป็นกรณีเดียวกันกับห้องนั่งเล่นชั้นล่างอีกด้วย แต่เนื่องผนังที่อยู่ทางทิศใต้นอกจากแสงสว่างที่เข้ามานั้น ยังได้นำความร้อนเข้ามาด้วย ดังนั้นห้องนี้จึงควรมีการป้องกันความร้อนที่จะเกิดขึ้นในด้านนี้โดยที่ไม่ทำลายศักยภาพการส่องสว่างภายในอาคารด้วย

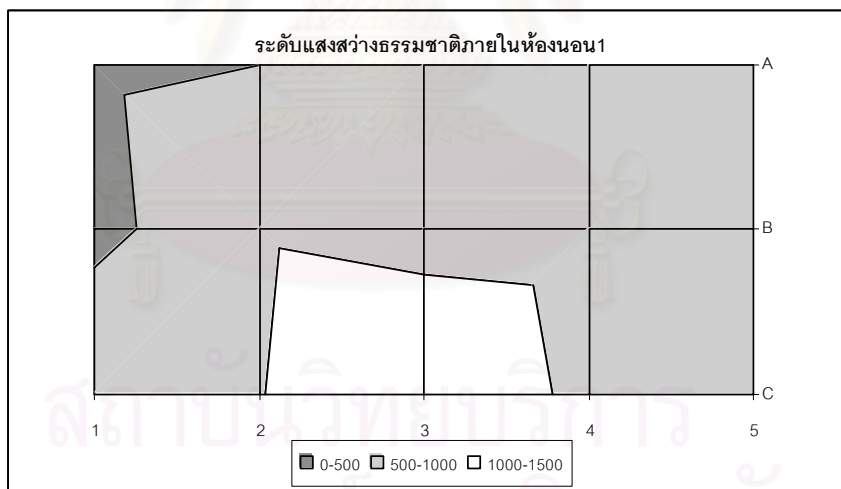
ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลค่าระดับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนอน1 (ลักซ์)

จุดที่ (ห้องนอน1)		A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4
ค่าแสงสว่างภายใน (ลักซ์)	บันทึกข้อมูลครั้งที่1	435	510	680	616	577	382	730	750	778
	บันทึกข้อมูลครั้งที่2	365	485	693	536	515	316	1150	920	776
	แสงสว่างภายในเฉลี่ย	400	497.5	686.5	576	546	349	940	835	777
ค่าแสงสว่างภายนอก(ลักซ์)	บันทึกข้อมูลครั้งที่1	13950	15320	14110	11990	12000	13910	14600	14640	13840
	บันทึกข้อมูลครั้งที่2	17130	17120	17050	17040	17030	16570	17100	16860	16980
	แสงสว่างภายนอกเฉลี่ย	15540	16220	15580	14515	14515	15240	15850	15750	15410
ค่าระดับ DF (%) เฉลี่ยรวม		2.57	3.07	4.41	3.97	3.76	2.29	5.93	5.30	5.04
ค่าระดับแสงประดิษฐ์		51	72	69	71	50	53	86	145	80

จุดที่ (ห้องนอน1)		B5	C2	C3	C4	C5
ค่าแสงสว่างภายใน (ลักซ์)	บันทึกข้อมูลครั้งที่1	814	922	1426	885	776
	บันทึกข้อมูลครั้งที่2	643	1046	1450	869	715
	แสงสว่างภายในเฉลี่ย	728.5	984	1438	877	745.5
ค่าแสงสว่างภายนอก (ลักซ์)	บันทึกข้อมูลครั้งที่1	14070	14680	15950	15690	16680
	บันทึกข้อมูลครั้งที่2	17120	17070	17110	16980	17090
	แสงสว่างภายนอกเฉลี่ย	15595	15875	16530	16335	16885
ค่าระดับ DF (%) เฉลี่ยรวม		4.67	6.20	8.70	5.37	4.42
ค่าระดับแสงประดิษฐ์		52	73	66	75	51



ภาพที่ 4.8 แสดงแผนผังการวัดความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนอน1 และห้องนอน2



แผนภูมิที่ 4.13 แสดงข้อมูลค่าระดับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนอน1 (ลักซ์)

**ระดับค่าความส่องสว่างภายในอาคารชั้นบน ห้องนอน2**

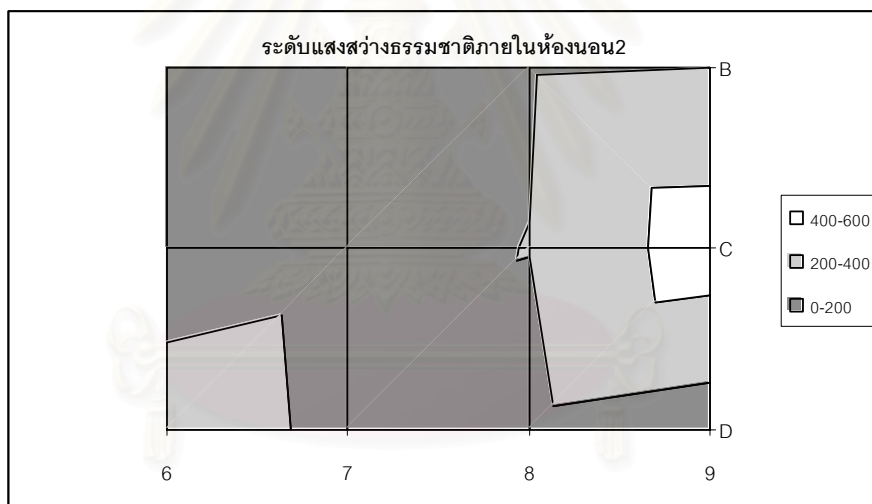
ห้องนอน2 เป็นห้องที่อยู่ทางด้านหลังหรือทิศเหนือของตัวอาคาร มีการเจาะช่องเปิด 2 ด้าน คือด้านทิศเหนือของห้อง เป็นช่องเปิดขนาด 0.55 x 1.10 เมตร 1 ช่อง ผนังด้านนี้อยู่ทางทิศเหนือ ซึ่งสามารถเปิดรับแสงสว่างธรรมชาติได้ดี เนื่องด้วยวงโคจรของดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะอ้อมไปทางทิศใต้ จึงทำให้แสงส่วนใหญ่เข้ามาในห้องทางด้านนี้ เมื่อเทียบกับช่องเปิดอีกด้านหนึ่งของห้อง ซึ่งอยู่ทางทิศใต้ ในส่วนยื่นออกจากแนวอาคาร เป็นช่องเปิดขนาด 0.30 x 1.10 ซึ่งมีขนาดเล็ก ทำให้แสงสว่างเข้ามา



ได้น้อย ค่า DF ที่วัดได้ค่อนข้างดี และผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งมีค่า DF เฉลี่ยอยู่ที่ 1.21% (ดูตารางที่ 4.10 และแผนภูมิที่ 4.14) แต่เนื่องด้วยช่องเปิดที่เปิดทางด้านทิศเหนือ ซึ่งเป็นส่วนหน้าจั่วที่ไม่มีกันสาดช่วยบังแสง จึงทำให้แสงที่ส่องเข้ามาสามารถนำความร้อนเข้ามาด้วย เนื่องจากวงโคจรของดวงอาทิตย์จะโคจรล้อมทางทิศเหนือช่วง 3 เดือนของปี และช่องเปิดทางทิศใต้ ซึ่งเป็นส่วนยื่นออกจากแนวอาคารนั้น ไม่มีกันสาดเช่นกันแสงที่เข้ามาจึงนำความร้อนเข้ามาด้วย จึงควรมีแนวทางป้องกันโดยไม่ทำลายศักยภาพการส่องสว่างในอาคารด้วย

ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลค่าระดับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนอน2 (ลักซ์)

จุดที่ (ห้องนอน2)		B6	B7	B8	B9	C6	C7	C8	C9	D6	D7	D8	D9
ค่าแสงสว่างภายใน (ลักซ์)	ข้อมูลครั้งที่1	102	124	182	205	119	162	208	520	280	171	154	98
	ข้อมูลครั้งที่2	98	136	188	192	125	155	197	490	263	164	156	94
	เฉลี่ย	100	130	185	198.5	122	158.5	202.5	505	271.5	167.5	155	96
ค่าแสงสว่างภายนอก (ลักซ์)	ข้อมูลครั้งที่1	14000	14950	12870	13320	15350	15240	14700	13840	14070	14680	15420	14050
	ข้อมูลครั้งที่2	17110	17690	17070	16980	17040	17000	16990	17110	17130	17090	17060	16900
	เฉลี่ย	15555	16320	14970	15150	16195	16120	15845	15475	15600	15885	16240	15475
ค่าระดับ DF (%)		0.64	0.80	1.24	1.31	0.75	0.98	1.28	3.26	1.74	1.05	0.95	0.62
ค่าระดับแสงประดิษฐ์		54	76	73	52	68	125	122	66	55	78	75	54



แผนภูมิที่ 4.14 แสดงข้อมูลค่าระดับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องนอน2 (ลักซ์)

#### 4.4.3 การวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างภายในอาคารจากแสงประดิษฐ์

ระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ที่ใช้ภายในอาคารนี้ จะใช้ดวงโคมชนิดฟลูออเรสเซนต์ ติดฝ้าเพดาน ไม่มีแผงสะท้อนแสง ขนาดโคมเป็นหลอด 1 x 18 วัตต์ ซึ่งใช้ติดภายในอาคารทุกห้องทุกชั้น ซึ่งในชั้น1 ห้องนั่งเล่นจะติดตั้งจำนวน 2 ชุด ส่วนชั้น2 ห้องนอน1 ห้องนอน 2 และโถงบันได จะติดตั้งห้องละ 1 ชุด และการติดตั้งดวงโคม แสงประดิษฐ์ และจัดวงจรเปิด-ปิดไฟฟ้าแต่ละชั้น เป็นไปตามแผนผังไฟฟ้าอาคารดังรูปที่ 4.5

การวัดค่าระดับความส่องสว่างในระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ ใช้เครื่องมือวัดแสง ลักซ์มิเตอร์ วัดค่าความส่องสว่างที่ระดับ 0.75 เมตร จากพื้นอาคาร วัดในตำแหน่งเดียวกันกับที่วัดค่าความส่องสว่างของธรรมชาติ แต่ต้องวัดในเวลากลางคืน และเปิดไฟแสงประดิษฐ์ทั้งหมด ค่าที่วัดได้นำมาเฉลี่ยค่าความส่องสว่างของไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ในแต่ละชั้นแต่ละห้องดังนี้

ชั้นที่ 1	ห้องนั่งเล่น	มีค่าความส่องสว่าง	71	ลักซ์
ชั้นที่ 2	ห้องนอน1	มีค่าความส่องสว่าง	71	ลักซ์
	ห้องนอน2	มีค่าความส่องสว่าง	75	ลักซ์

ค่าความส่องสว่างตามมาตรฐาน CIE ที่แนะนำให้ใช้กับพื้นที่ทั่วไปภายในอาคารพักอาศัย ต้องมีค่าอยู่ประมาณ 50-100 ลักซ์ จากการพิจารณาแล้วนั้น ค่าความส่องสว่างภายในอาคารกรณีศึกษา ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ จึงยังไม่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงแต่อย่างใด

#### 4.4.4 สรุปการวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างภายในอาคารทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์

โดยสรุปจากการสำรวจและพิจารณาระบบแสงสว่างภายในอาคารทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ สามารถประเมินอาคารในขั้นต้นนี้ได้ว่า อาคารกรณีศึกษาที่มีระดับการให้แสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ในอาคารที่เหมาะสมกับการใช้งาน และประสิทธิภาพเพียงพออยู่แล้ว เนื่องจากมีค่าปริมาณวัตต์ต่อตารางเมตร และค่าระดับความส่องสว่างที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้นั้นก็มีความเหมาะสมพอโดยที่ไม่ต้องใช้แสงประดิษฐ์ช่วยร่วมในช่วงกลางวัน แต่ต้องมีการป้องกันในเรื่องความร้อน เนื่องจากแสงที่เข้ามาจะนำความร้อนและแสงแดดเข้ามาด้วย โดยเฉพาะในส่วนของชั้นสองของอาคาร

#### 4.5 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของระบบเปลือกอาคาร

จากข้อมูลอาคารทั้งหมดนำมาคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร (overall thermal transfer หรือ OTTV) ซึ่งกฎหมายอนุรักษ์พลังงานได้กำหนดให้อาคารใหม่มีค่าไม่เกิน 45 วัตต์ต่อตารางเมตร และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาของอาคาร (roof thermal transfer หรือ RTTV) ที่กฎหมายกำหนดไว้ไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตร สามารถคำนวณค่าได้ดังต่อไปนี้

##### 4.5.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร (OTTV)

จากการคำนวณพื้นที่ผนังทั้งหมดของอาคารบ้านพักอาศัยเอื้ออาทรประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้น พบว่าผนังอาคารประกอบด้วยช่องเปิดอาคารเป็นหน้าต่างกระจกบานเกล็ด มีพื้นที่ประมาณร้อยละ 5.5 ของพื้นที่ผนังทั้งอาคาร โดยส่วนผนังที่ประกอบด้วยร้อยละ 91 เป็นผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูน และร้อยละ 9 เป็นผนังไม้สังเคราะห์ที่ซีลอนเกล็ด ภายในกรุอิฐขัดมันเรียบ จึงสามารถคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารได้ 40.31 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนด ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารกรณีศึกษา

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV)								
ทิศผนังอาคาร		ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TD	SF	SC	Q
เหนือ	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	3	12	-	-	237.6
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	111.4	0.518	26.16
	ชั้น2	ผนังทึบ	8.3	3	12	-	-	298.8
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	111.4	0.57	55.79
รวม			15.8					618.35
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 39.14 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันออก	ชั้น1	ผนังทึบ	11.7	3	12	-	-	421.2

		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.516	146.26
	ชั้น2	ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	17.2	3	12	-	-	619.2
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.485	139.6
	รวม		32.9					1,379.06
<b>ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 41.92 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								
ใต้	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	3	12	-	-	237.6
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	178.2	0.438	64.54
	ชั้น2	ผนังทึบ	4.1	2.2	15	-	-	135.3
		ผนังทึบ	4.2	3	12	-	-	151.2
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	178.2	0.489	138.71
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	178.2	0.319	25.91
	รวม		17					753.26
<b>ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 44.31 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								
ตะวันตก	ชั้น1	ผนังทึบ	12.9	3	12	-	-	464.4
	ชั้น2	ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	19.6	3	12	-	-	705.6
	รวม		34.1					1,222.80
<b>ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 35.86 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								
<b>ค่า OTTV รวมทั้งอาคาร = 40.31 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								

#### 4.5.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาของอาคาร (RTTV)

จากการคำนวณพื้นที่หลังคาทั้งหมดของอาคารกรณีศึกษา พบว่าหลังคาอาคารเป็นหลังคาจั่วกระเบื้องลูกฟูกลอนเล็กสีน้ำตาลแดง ลาดเอียง 30 องศา หันหน้าจั่วไปทางทิศเหนือและใต้ สามารถคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาอาคารกรณีศึกษาได้ 9.99 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารกรณีศึกษา

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)							
ทิศหลังคาอาคาร	ชนิด	พื้นที่	U	TD	SF	SC	Q
เหนือ	หลังคาทึบ	1.8	2.2	15	-	-	59.4
ตะวันออก	หลังคาทึบ	26	0.3	28	-	-	218.4
ใต้	หลังคาทึบ	1.8	2.2	15	-	-	59.4
ตะวันตก	หลังคาทึบ	26	0.3	28	-	-	218.4
	รวม	55.6					555.60
<b>ค่า RTTV รวมทั้งอาคาร = 9.99 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>							

#### 4.6 การเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษากับอาคารจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

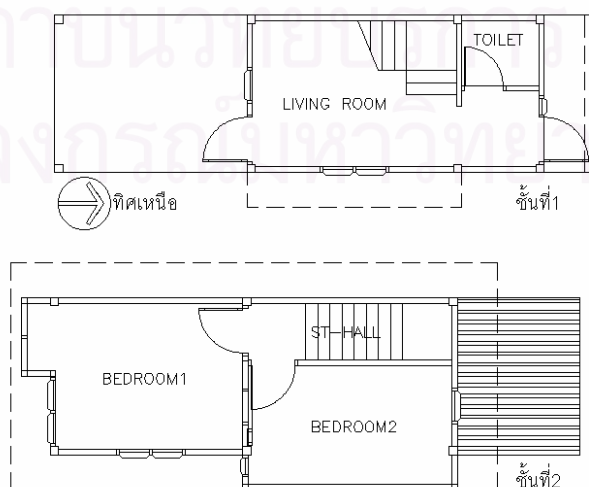
การเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษานั้น เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าอาคารจำลองสภาพการณ์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถเป็นตัวแทนของอาคารกรณีศึกษาได้หรือไม่ จึงต้องนำรายงานผลที่ได้จากโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เก็บมาจากอาคารกรณีศึกษา ซึ่งเป็นอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ ข้อมูลที่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้นั้น เป็นข้อมูลทางด้านอุณหภูมิภายในอาคาร และข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอาคาร โดยมีขั้นตอนดังจะกล่าวต่อไป

##### 4.6.1 การจำลองสภาพอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ จะต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลมาจากอาคารจริง การจำลองสภาพเริ่มต้นด้วยการจัดแบ่งโซน ของอาคารกรณีศึกษา ออกเป็นห้องๆ โดยกำหนดตารางเวลาและปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละห้อง โดยแบ่งเป็นตารางและปริมาณการใช้งานของผู้พักอาศัยในแต่ละห้อง ตารางและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ตลอดจนกำหนดปริมาณการรั่วไหลของอากาศด้วย ซึ่งการกำหนดตารางการใช้งานในแต่ละส่วนนั้นต้องกำหนดให้ละเอียดตั้งแต่ตารางการใช้งานรายวัน ใช้งานกี่ชั่วโมงใน 1 วัน ตารางการใช้งานรายสัปดาห์ใช้กี่วันใน 1 สัปดาห์ และตารางการใช้งานรายปีใช้งานกี่สัปดาห์ใน 1 ปี

จากนั้นจึงมากำหนดลักษณะและชนิดของวัสดุที่ใช้ในอาคารตามองค์ประกอบสำคัญๆ ของอาคารแล้วจึงกำหนดรายละเอียดของโซนในแต่ละโซน บอกตำแหน่งที่ตั้งเป็นค่าพิกัด(coordinate X,Y,Z)บอกทิศทางระนาบเป็นค่ามุมองศา กำหนดความกว้างยาวหรือพื้นที่ของโซนนั้นๆ ซึ่งรายละเอียดข้อมูลการจำลองสภาพภายในของแต่ละโซน ตามตารางที่ 4.13 รายละเอียดการเขียนข้อมูลสำหรับป้อนข้อมูลการจำลองสภาพอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE2 แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

เมื่อป้อนข้อมูลจนครบถ้วนตามความต้องการและถูกต้องตามเงื่อนไขของโปรแกรมแล้ว จึงจะสามารถสั่งให้โปรแกรมทำการประมวลผลและรายงานผลข้อมูลออกมาได้ โดยในช่วงรายงานผลนี้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้องนำข้อมูลมาคำนวณร่วมกับข้อมูลอากาศ (weather data) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ต้องเขียนขึ้นอีกต่างหาก 1 ชุด เมื่อข้อมูลครบถ้วนแล้ว โปรแกรมจึงรายงานผลออกมา ซึ่งจะเป็นรายงานผลข้อมูลการใช้พลังงานในส่วนต่างๆ ของอาคาร รวมทั้งภาวะการปรับเปลี่ยนในแต่ละองค์ประกอบของอาคาร โดยโปรแกรมสามารถรายงานผลการใช้พลังงานได้โดยละเอียด ตั้งแต่ในระดับรายชั่วโมง รายวัน รายเดือนและรายปี



ภาพที่ 4.9 แสดงแผนผังรายละเอียดการจัดกลุ่มพื้นที่ภายในอาคารกรณีศึกษา

ตารางที่ 4.13 แสดงรายละเอียดการจัดแบ่งพื้นที่และการสำรวจข้อมูลในแต่ละโซน

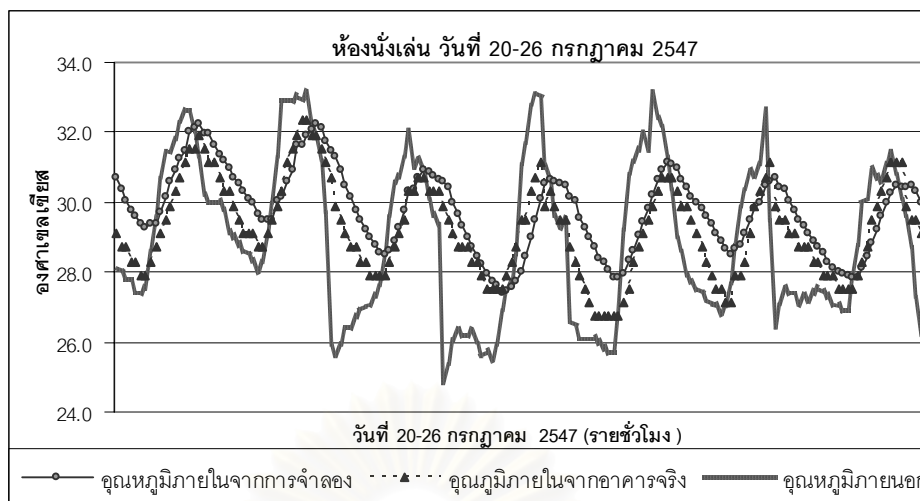
Zone	Function	Area (sq.m)	Occupy	Area/ Person	Lighting (w)	Lighting/Area (w/sq.m)	Equipment (w)	Equipment / Area(w/sq.m)
1	LIVING ROOM	12.50	2	6.25	56	4.48	2,186	174.88
2	TOILET	1.80	0	0	28	15.55	2,000	1,111
3	BEDROOM1	10.35	1	10.35	28	2.70	45	4.35
4	BEDROOM2	8.80	1	8.80	28	3.18	45	5.11
5	ST-HALL	3.75	1	3.75	28	7.46	0	0

#### 4.6.2 การเปรียบเทียบลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร

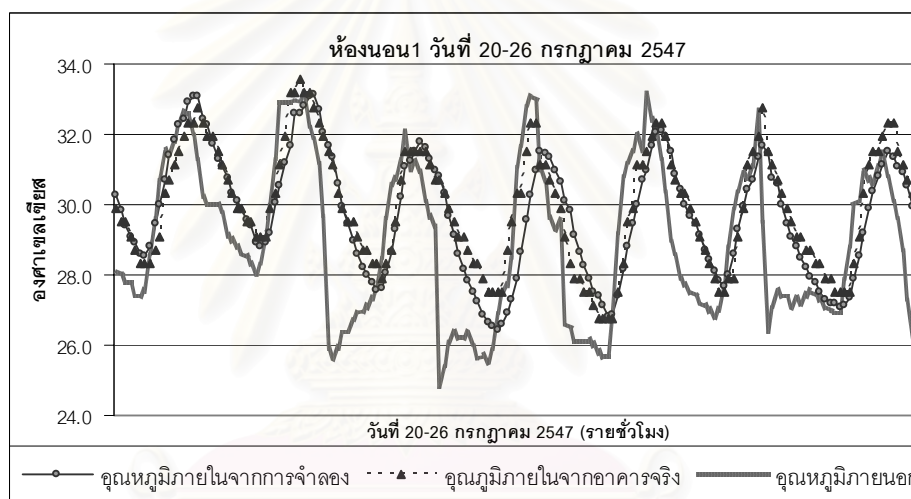
จากข้อมูลที่ได้รับรวบรวมมาในช่วงวันที่ 10 กรกฎาคม 2547 ถึง 9 สิงหาคม 2547 เป็นเวลา 30 วัน จึงได้นำช่วงข้อมูลที่ได้รับได้จริงมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยเลือกช่วงข้อมูลออกมาเป็นเวลา 7 วัน (20 ส.ค. 2547 – 26 ส.ค. 2547) เป็นรายชั่วโมง เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบ ซึ่งในการเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบจากสถานที่จริงนั้น ได้เก็บข้อมูลในส่วนของอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกอาคาร ในสภาพอาคารที่เปิดประตูและหน้าต่างตลอดทั้งวัน ภายในอาคารเป็นห้องโล่งปราศจากเครื่องเรือน โดยแยกเป็นห้องๆ ซึ่งประกอบด้วย ห้องนั่งเล่น ห้องนอน1 และห้องนอน2 ในส่วนขั้นตอนดำเนินการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้รับได้จริงกับข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นจะแสดงในภาคผนวก ก. ซึ่งทำให้ได้ผลของหุ่นจำลองอาคารที่มีความน่าเชื่อถือที่สุด เพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับการศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารในลำดับต่อไป ดังผลสรุปรายละเอียดในตารางที่ 4.14 และแผนภูมิที่ 4.15 ถึง 4.17 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของอาคารกรณีศึกษากับการคำนวณด้วยโปรแกรม

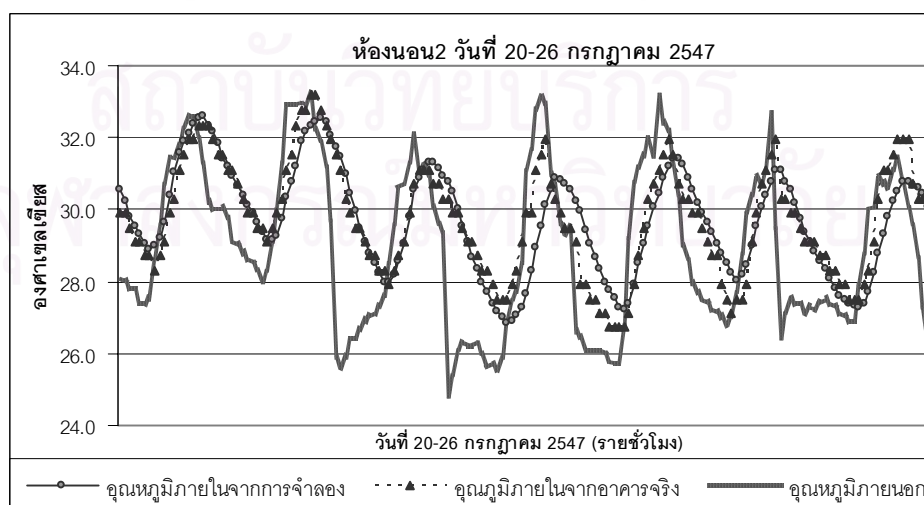
	ห้องนั่งเล่น		ห้องนอน1		ห้องนอน2	
	ค่าความคลาดเคลื่อน (°C)	คิดเป็นร้อยละคลาดเคลื่อน	ค่าความคลาดเคลื่อน (°C)	คิดเป็นร้อยละคลาดเคลื่อน	ค่าความคลาดเคลื่อน (°C)	คิดเป็นร้อยละคลาดเคลื่อน
ค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย	0.75	2.52	0.51	1.75	0.56	1.89
ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด	1.99	6.92	2.42	8.67	2.24	8.09
ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00



แผนภูมิที่ 4.15 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารกรณีศึกษากับการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ห้องนั่งเล่น)



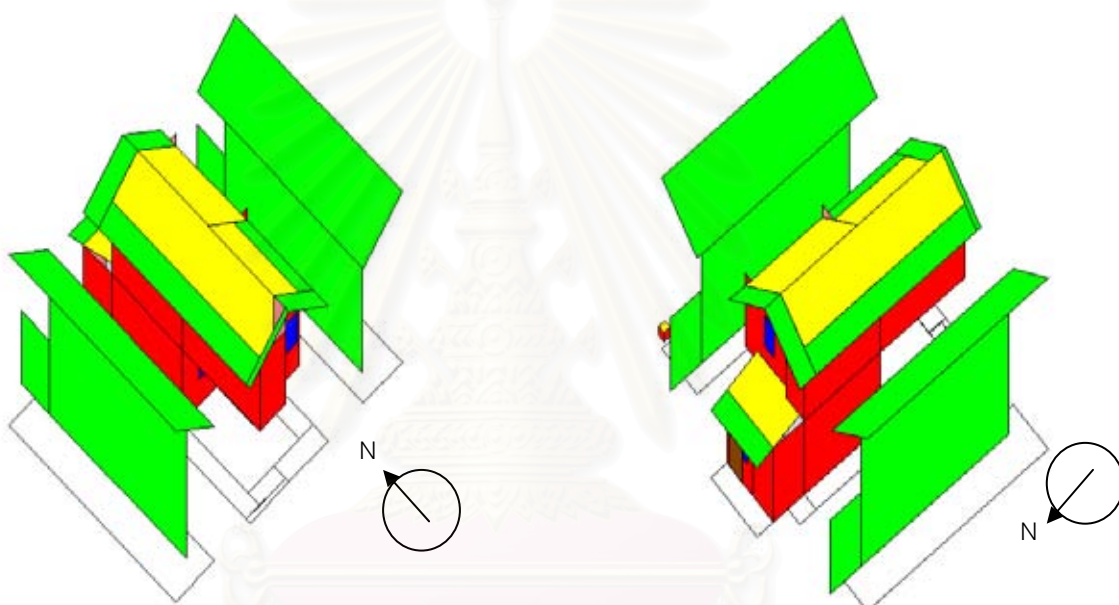
แผนภูมิที่ 4.16 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารกรณีศึกษากับการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ห้องนอน1)



แผนภูมิที่ 4.17 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารกรณีศึกษากับการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ห้องนอน2)

#### 4.6.3 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของอาคาร

การป้อนข้อมูลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE21E นั้น ต้องเขียนข้อมูลและใส่คำสั่งที่โปรแกรมสามารถอ่านได้เข้าใจ ข้อมูลส่วนใหญ่ต้องบอกเป็นตัวเลข ค่ามุมมอง ค่าความกว้างยาวหรือขนาดพื้นที่ในแต่ละโซน การเขียนข้อมูลต้องใส่ให้ละเอียดครบถ้วน ผนังทุกด้านโดยเฉพาะผนังภายนอก หน้าต่าง พื้นห้อง ฝ้าเพดาน หลังคา รวมทั้งแผงกันแดดภายนอก ตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละองค์ประกอบต้องบอกเป็นค่า Coordinate และสามารถตรวจสอบความถูกต้องทางกายภาพของอาคารที่จำลองสภาพในโปรแกรมได้ผ่านทางโปรแกรมช่วยชื่อ DRAW BDL. โดยนำข้อมูลที่เขียนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ส่งให้โปรแกรม DRAW BDL. อ่านและโปรแกรมจะรายงานผลออกมาเป็นรูปทรงอาคารในลักษณะ 3 มิติ ซึ่งสามารถตรวจสอบความถูกต้องของอาคารได้โดยนำไปเปรียบเทียบกับอาคารจริง จากการตรวจสอบพบว่า รูปทรงอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีความถูกต้องใกล้เคียงกับอาคารจริงมาก เว้นแต่ได้ตัดทอนรายละเอียดทางสถาปัตยกรรมออกไปบางส่วน



ภาพที่ 4.10 แสดงภาพอาคารที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DRAW BDL.

#### 4.7 การศึกษาข้อดี - ข้อเสียของอาคารกรณีศึกษา

จากการสำรวจและศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร และจากการจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถสรุปข้อดี - ข้อเสียของอาคารกรณีศึกษา โดยจำแนกได้ดังนี้

เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา	ผลการวิเคราะห์ข้อดี - ข้อเสียของอาคาร
<p><u>มาตรฐานควบคุมอาคาร</u></p> <p>1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม</p> <p>    ค่า OTTV (45 w/sq.m)</p> <p>    ค่า RTTV (25 w/sq.m)</p> <p>2) ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง</p> <p>    (16 w/sq.m)</p> <p>3) ระดับความส่องสว่างภายในอาคาร</p> <p><u>ลักษณะทางกายภาพของอาคาร</u></p> <p>1) การควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารเข้าสู่ระดับสภาวะน่าสบาย</p> <p>2) การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ</p> <p>3) สัดส่วนผนังอาคารกับพื้นที่การเจาะช่องเปิด</p> <p>4) การเลือกใช้วัสดุหลักของเปลือกอาคาร</p> <p>    - วัสดุผนังทึบ</p> <p>    - วัสดุช่องเปิดอาคาร</p> <p>    - วัสดุหลังคา</p>	<p>- อาคารกรณีศึกษามีค่า OTTV 40.31 w/sq.m ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด</p> <p>- อาคารกรณีศึกษามีค่า RTTV 9.99 w/sq.m ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด</p> <p>- อาคารกรณีศึกษาใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างต่อตารางเมตรเป็น 4.84 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน</p> <p>- ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของแสงไฟประดิษฐ์สำหรับบริเวณพื้นที่ทั่วไปภายในอาคารกรณีศึกษา มีค่าเฉลี่ยประมาณ 72 ลักซ์ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน</p> <p>- อาคารกรณีศึกษามีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยอยู่เหนือระดับสภาวะน่าสบายในช่วงฤดูร้อน และมีชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบายในห้องนั่งเล่น ห้องนอน 1 และ 2 เป็นร้อยละ 66.7, 86.6 และ 86.5 ของช่วงเวลาที่มีการใช้สอยพื้นที่ตามลำดับ</p> <p>- การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ เข้ามาใช้ภายในอาคารเพียงพอต่อการใช้งานของอาคาร โดยค่า Daylight Factor (DF) เฉลี่ยที่เข้ามาในอาคาร จำแนกตามห้องนั่งเล่น ห้องนอน 1 และห้องนอน 2 อยู่ที่ร้อยละ 1.29, 4.72 และ 1.21 ตามลำดับ</p> <p>- อาคารมีพื้นที่เจาะช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนังอาคาร ซึ่งจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจากการนำความร้อนและการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ได้มาก เนื่องจากความร้อนส่วนหนึ่งจะผ่านเข้ามาทางช่องเปิดอาคาร</p> <p>- เป็นผนังก่อคอนกรีตบล็อกฉนวนเรียบ ที่มีค่าความต้านทานความร้อนรวมที่ต่ำ ทำให้ไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร</p> <p>- เป็นหน้าต่างบานเกล็ดกระจกหนา 5 มม. ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนค่อนข้างสูง เป็นผลให้ความร้อนสามารถถ่ายเทผ่านเข้าสู่อาคารได้มากขึ้น</p> <p>- เป็นกระเบื้องลูกฟูกลอนเล็ก ซึ่งแม้ว่าจะมีค่าความต้านทานความร้อนรวมที่ต่ำ แต่อาคารกรณีศึกษาได้ติดตั้งวัสดุฉนวนใยแก้วกันความร้อน 4" ทำให้ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่ตัวอาคารได้</p>



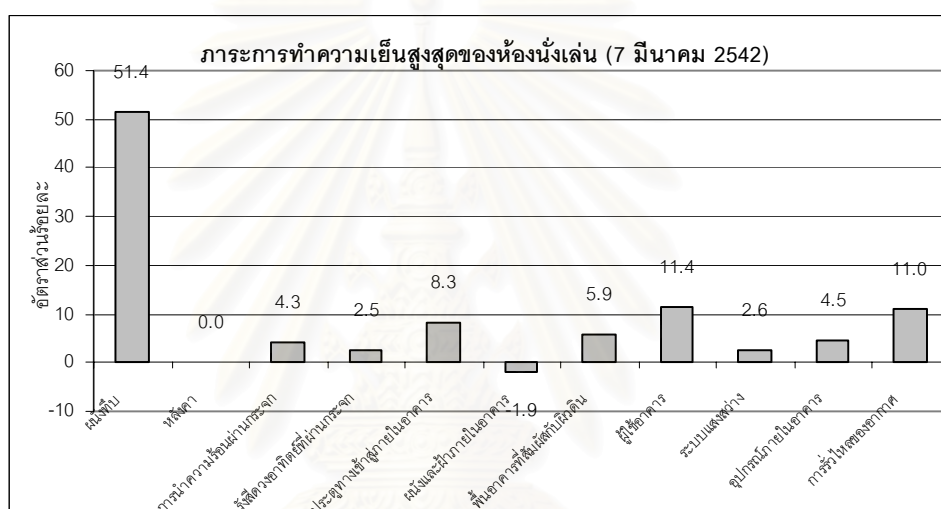
## บทที่ 5

### การพิจารณาแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

#### 5.1 การกำหนดองค์ประกอบของอาคารที่ควรปรับปรุง

จากผลการจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงทำการศึกษาข้อมูลที่ได้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์สภาพปัญหาและกำหนดทางเลือกในการแก้ไข ซึ่งช่วงข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์สภาพปัญหานั้น ได้นำมาจากวันที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดของอาคาร เพื่อพิจารณาลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารกรณีศึกษา โดยจำแนกเป็นห้องภายในอาคารมาดัดแผนภูมิต่อไปนี้

##### 5.1.1 แสดงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นของห้องนั่งเล่น



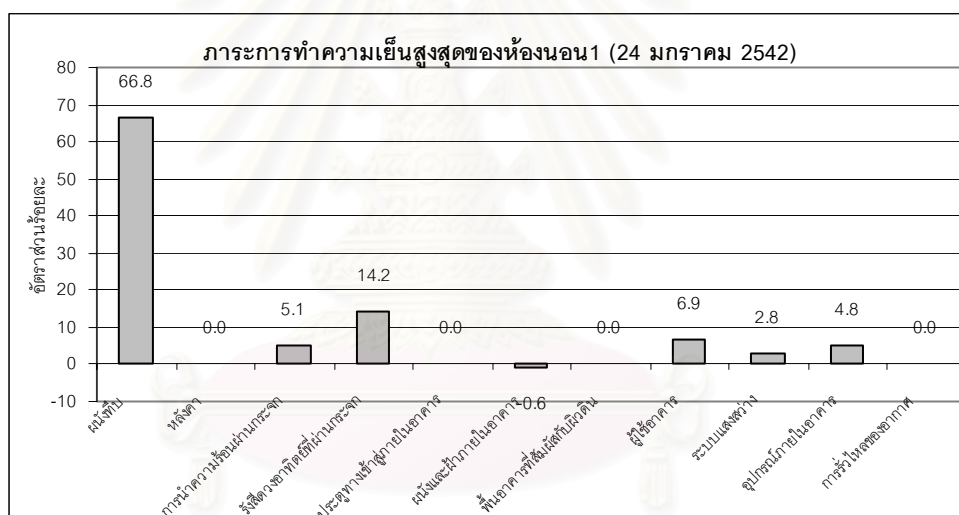
แผนภูมิที่ 5.1 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนั่งเล่น

ตารางที่ 5.1 แสดงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นของห้องนั่งเล่น

แหล่งที่มาของความร้อน	ความร้อนสัมผัส (kBtu/hr)	ความร้อนแฝง (kBtu/hr)	รวม (kBtu/hr)	อัตราส่วนร้อยละ
ผนังที่บ	2.835	0	2.835	51.4
หลังคา	0	0	0	0
การนำความร้อนผ่านกระจก	0.235	0	0.235	4.3
รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านกระจก	0.14	0	0.14	2.5
ประตูทางเข้าสู่ภายในอาคาร	0.457	0	0.457	8.3
ผนังและฝ้าภายในอาคาร	-0.106	0	-0.106	-1.9
พื้นอาคารที่สัมผัสกับผิวดิน	0.328	0	0.328	5.9
ผู้ใช้อาคาร	0.369	0.261	0.63	11.4
ระบบแสงสว่าง	0.144	0	0.144	2.6
อุปกรณ์ภายในอาคาร	0.247	0	0.247	4.5
การรั่วไหลของอากาศ	0.307	0.301	0.608	11.0
รวม	4.956	0.562	5.518	100

จากแผนภูมิที่ 5.1 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนั่งเล่น ทำให้ทราบถึงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นกับห้องดังกล่าว ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านทางผนังภายนอกอาคาร (Wall conduction heat gain) เป็นส่วนใหญ่หรือร้อยละ 51.4 ของความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องนี้ เนื่องจากห้องนั่งเล่นมีผนังภายนอกทั้ง 4 ด้านและวันที่เกิดภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องเกิดขึ้นในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี ซึ่งควรมีการปรับปรุงให้ดีขึ้นในลำดับต่อไป ส่วนความร้อนที่เกิดขึ้นจากองค์ประกอบอาคารในลำดับรองลงมาเป็นส่วนที่ถ่ายเทผ่านทางประตู เนื่องจากประตูของห้องนั่งเล่น เป็นประตูที่เปิดออกสู่ภายนอกอาคารสองช่องทาง ทั้งด้านหน้าและด้านหลังอาคาร ส่วนความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนและรังสีดวงอาทิตย์ผ่านทางหน้าต่าง(Window glass conduction และ Window glass solar heat gain)ห้องนั่งเล่นนั้น จะเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากหน้าต่างของห้องนี้มีกันสาดช่วยในการป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ที่จะส่องผ่านเข้าอาคารในระดับที่พอ เหมาะแล้ว ส่วนความร้อนที่เกิดขึ้นในส่วนอื่น ไม่ว่าจะเกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้า ผู้ใช้อาคาร แสงสว่างประดิษฐ์ เป็นต้นนั้น เป็นตัวแปรที่ไม่แน่นอนและยากต่อการควบคุม ซึ่งไม่อยู่ในขอบเขตการวิจัยจึงไม่นำมาพิจารณา

5.1.2 ลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นของห้องนอน 1



แผนภูมิที่ 5.2 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน 1

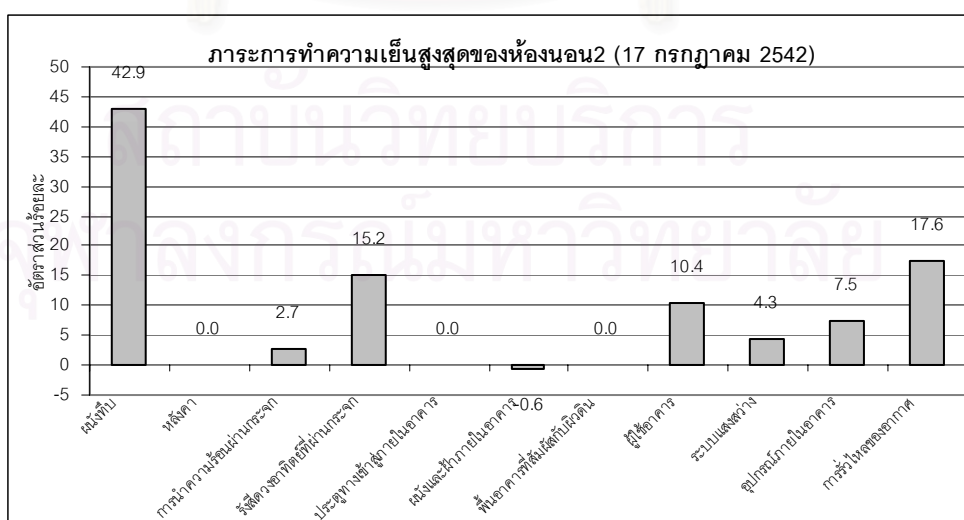
ตารางที่ 5.2 แสดงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นของห้องนอน 1

แหล่งที่มาของความร้อน	ความร้อนสัมผัส (kBtu/hr)	ความร้อนแฝง (kBtu/hr)	รวม (kBtu/hr)	อัตราส่วนร้อยละ
ผนังทึบ	3.102	0	3.102	66.8
หลังคา	0	0	0	0
การนำความร้อนผ่านกระจก	0.236	0	0.236	5.1
รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านกระจก	0.658	0	0.658	14.2
ประตูทางเข้าสู่ภายในอาคาร	0	0	0	0
ผนังและฝ้าภายในอาคาร	-0.027	0	-0.027	-0.6
พื้นอาคารที่สัมผัสกับผิวดิน	0	0	0	0
ผู้ใช้อาคาร	0.192	0.13	0.322	6.9

แหล่งที่มาของความร้อน	ความร้อนสัมผัส (kBtu/hr)	ความร้อนแฝง (kBtu/hr)	รวม (kBtu/hr)	อัตราส่วน ร้อยละ
ระบบแสงสว่าง	0.13	0	0.13	2.8
อุปกรณ์ภายในอาคาร	0.224	0	0.224	4.8
การรั่วไหลของอากาศ	0	0	0	0.0
รวม	4.515	0.13	4.645	100

จากแผนภูมิที่ 5.2 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน1 ทำให้ทราบถึงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นกับห้องดังกล่าว ซึ่งเกิดความร้อนจากการถ่ายเทผ่านทางผนังภายนอก (Wall conduction heat gain) เป็นร้อยละ 66.8 ของความร้อนที่เกิดขึ้นกับห้องนอน1 ซึ่งเกิดขึ้นมากที่สุดหากเปรียบเทียบกับห้องอื่นๆของอาคาร เนื่องจากห้องนี้มีผนังทั้ง 3 ด้านเป็นผนังภายนอก และห้องอยู่ทางด้านหน้าหรือทิศใต้ของตัวอาคาร ซึ่งได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์เกือบตลอดทั้งวัน อีกทั้งความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทและส่องผ่านรังสีดวงอาทิตย์ทางหน้าต่าง (Window glass conduction และ Window glass solar heat gain) ของห้องนี้ก็เกิดขึ้นพอสมควร เนื่องจากห้องนอน1 มีอัตราส่วนของหน้าต่างร้อยละ 25 ของผนังภายนอก และหน้าต่างส่วนหนึ่งจะอยู่ทางทิศใต้ ซึ่งได้รับอิทธิพลรังสีดวงอาทิตย์และองศามุมตกกระทบ แม้ว่าช่องหน้าต่างห้องนี้จะมีกันสาดยื่น 0.50 ม. ทางด้านหน้าหรือทิศใต้ของอาคาร และชายคายื่น0.70 ม. ในส่วนด้านข้างอาคาร ช่วยป้องกันรังสีดวงอาทิตย์แล้วก็ตาม จึงควรมีการพิจารณาปรับปรุงในส่วนของช่องเปิดหน้าต่างของห้องนี้ประกอบด้วย ในส่วนของประกอบอาคารที่เกิดการถ่ายเทความร้อนจากพื้นที่ใต้หลังคาผ่านทางฝ้าเพดานนั้น เนื่องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้จะประเมินผลการถ่ายเทความร้อนนี้รวมในส่วน of พื้นผิวภายใน (Internal surface conduction) ซึ่งจากผลการประเมิน ทำให้ทราบว่าความร้อนในส่วนนี้ไม่เกิดขึ้น เนื่องจากอาคารกรณีศึกษามีการป้องกันโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใยแก้วหนา 4 นิ้ว บนฝ้าเพดาน จึงทำให้ไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนจากใต้หลังคาผ่านทางฝ้าเพดาน เข้าสู่ภายในอาคาร

### 5.1.3 แสดงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นของห้องนอน 2



แผนภูมิที่ 5.3 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน 2

ตารางที่ 5.3 แสดงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นของห้องนอน2

แหล่งที่มาของความร้อน	ความร้อนสัมผัส (kBtu/hr)	ความร้อนแฝง (kBtu/hr)	รวม (kBtu/hr)	อัตราส่วน ร้อยละ
ผนังที่บ	1.436	0	1.436	42.9
หลังคา	0	0	0	0
การนำความร้อนผ่านกระจก	0.091	0	0.091	2.7
รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านกระจก	0.509	0	0.509	15.2
ประตูทางเข้าสู่ภายในอาคาร	0	0	0	0
ผนังและฝ้าภายในอาคาร	-0.019	0	-0.019	-0.6
พื้นอาคารที่สัมผัสกับผิวดิน	0	0	0	0
ผู้ใช้อาคาร	0.22	0.13	0.35	10.4
ระบบแสงสว่าง	0.143	0	0.143	4.3
อุปกรณ์ภายในอาคาร	0.25	0	0.25	7.5
การรั่วไหลของอากาศ	0.143	0.447	0.59	17.6
รวม	2.773	0.577	3.35	100

จากแผนภูมิที่ 5.3 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน2 ซึ่งเป็นห้องที่อยู่ทางด้านหลังหรือทิศเหนือของตัวอาคาร ทำให้ทราบถึงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นกับห้องดังกล่าว ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านทางผนัง (Wall conduction heat gain) คิดเป็นร้อยละ 42.9 ของความร้อนที่เกิดขึ้นกับองค์ประกอบอาคารของห้องนอน2 แต่ความร้อนที่เกิดจากผนังห้องนี้จะเกิดขึ้นน้อยกว่าห้องอื่นๆของอาคาร เนื่องจากห้องนี้มีปริมาณผนังภายนอกน้อยกว่าห้องอื่น ส่วนความร้อนที่เกิดของลงมานั้นจะเกิดจากอิทธิพลรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้ามาในอาคาร(Window glass solar heat gain) เนื่องจากวันที่เกิดภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนี้ เป็นวันที่ 17 กรกฎาคม ซึ่งเป็นช่วงเดือนที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมทางทิศเหนือ และหน้าต่างห้องทางทิศนี้ไม่มีแผงกันแดดช่วยป้องกันรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงที่จะส่องผ่านเข้ามาในห้อง ในส่วนขององค์ประกอบอาคารที่เกิดการถ่ายเทความร้อนจากพื้นที่ใต้หลังคาผ่านทางฝ้าเพดานนั้น ผลการวิเคราะห์จะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับห้องนอน 1 ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นสูงสุด ทำให้ทราบถึงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นกับองค์ประกอบอาคารในแต่ละห้องของอาคารกรณีศึกษา และสามารถสรุปองค์ประกอบอาคารที่ควรและไม่ควรพิจารณาปรับปรุงได้ดังนี้

#### 5.1.4 องค์ประกอบอาคารที่ไม่นำมาพิจารณาปรับปรุง

1. แหล่งความร้อนที่เกิดจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เนื่องจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารกรณีศึกษามีค่าปริมาณวัตต์ต่อตารางเมตร อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมดีอยู่แล้ว อุปกรณ์การใช้งานมีประสิทธิภาพดี จึงยังไม่จำเป็นต้องปรับปรุงใดๆ
2. แหล่งความร้อนที่เกิดจากระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร เนื่องจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคารส่วนใหญ่จำเป็นต้องใช้งานอย่างสม่ำเสมอ ยากต่อการปรับปรุง และอยู่นอกเหนือขอบเขตการวิจัยจึงไม่นำมาพิจารณาปรับปรุง

3. แหล่งความร้อนที่เกิดจากผู้ใช้งานอาคาร เนื่องจากการใช้งานอาคารของผู้พักอาศัยเป็นตัวแปรที่ไม่แน่นอน ยากต่อการควบคุม ต้องใช้มาตรการออกกฎระเบียบต่างๆ ซึ่งไม่อยู่ในขอบเขตการวิจัยจึงไม่นำมาพิจารณาปรับปรุง
4. แหล่งความร้อนที่เกิดจากการรั่วไหลของอากาศ เนื่องจากอาคารใช้ระบบระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ซึ่งไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการรั่วไหลของอากาศ จึงไม่นำมาพิจารณาปรับปรุง
5. แหล่งความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาอาคาร เนื่องจากการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะแสดงผลออกมาในส่วนของผนังและฝ้าภายในอาคาร โดยเป็นการแสดงผลแหล่งที่มาของความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนทางหลังคาผ่านส่วนฝ้าเพดานลงสู่ภายในอาคาร ทำให้ทราบผลของความร้อนที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในส่วนนี้ เนื่องจากอาคารกรณีศึกษามีการป้องกันความร้อนในจุดนี้ดีอยู่แล้ว โดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใยแก้วหนา 4 นิ้วบนฝ้าเพดาน จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากใต้หลังคาผ่านทางฝ้าเพดาน เข้าสู่ภายในอาคารเล็กน้อย จึงไม่นำมาพิจารณาปรับปรุง

#### 5.1.5 องค์ประกอบอาคารที่นำมาพิจารณาปรับปรุง

1. การลดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบของอาคาร เนื่องจากผนังทึบของอาคารกรณีศึกษาเป็นวัสดุก่อคอนกรีตบล็อกสำเร็จรูป ซึ่งมีค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้มาก สามารถปรับปรุงด้วยการเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการหน่วงความร้อนหรือเป็นตัวต้านทานความร้อนของผนังอาคาร
2. การลดการนำความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านเปลือกอาคารส่วนของช่องแสงหน้าต่าง ด้วยการเปลี่ยนชนิดของกระจกที่ใช้กับอาคาร และการเพิ่มแผงกันแดดให้กับช่องเปิด

## 5.2 วิธีการพิจารณาปรับปรุงแต่ละองค์ประกอบอาคาร

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมทางเทคนิคและความเป็นไปได้ในการดำเนินการโดยนำองค์ประกอบอาคารทั้ง 2 ส่วนที่ต้องปรับปรุงมาพิจารณาเป็นส่วนๆ โดยละเอียดดังนี้

### 5.2.1 วิธีการลดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ

การใช้วัสดุก่อสร้างเพื่อช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อน สามารถทำได้ 2 วิธี วิธีแรกคือ การใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการหน่วงความร้อน เป็นการยอมให้ความร้อนผ่านแต่ทั้งช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะส่งผ่านไป ซึ่งเราเรียกช่วงเวลานี้ว่าช่วงเวลาหน่วง (time lag) ซึ่งช่วงเวลาจะผันแปรตามความหนาของวัสดุ ส่วนวิธีที่สองคือ การใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นตัวต้านทานความร้อนโดยไม่ยอมให้ความร้อนผ่านไปได้อย่างง่าย เป็นวิธีที่ไม่จำเป็นต้องมีความหนาของวัสดุมากนัก โดยหลักใหญ่ของวิธีนี้จะเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติ 2 ประเภท คือ ประเภทที่ทำหน้าที่เป็นฉนวน กับวัสดุที่มีคุณสมบัติต้านทานการแผ่รังสีความร้อน

### 5.2.2 วิธีการลดการนำความร้อนและการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ผ่านกระจก

เนื่องด้วยพลังงานความร้อนที่ผ่านทางกระจกเข้าสู่ภายในอาคารนั้นมี 2 ลักษณะ กล่าวคือ

1. พลังงานความร้อนที่เข้าสู่อาคารด้วยวิธีนำความร้อน ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารในส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการนำความร้อนของกระจก และค่าอุณหภูมิแตกต่างภายในและภายนอกอาคาร สำหรับอาคารกรณีศึกษามีแนวทางปรับปรุงได้โดยการนำกระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การป้องกันความร้อนที่สูงขึ้นมาใช้กับอาคาร

- พลังงานความร้อนที่เข้าสู่อาคารด้วยวิธีส่งผ่านความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์เข้าสู่อาคาร ซึ่งปริมาณความร้อนส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient) ของกระจก อุณหภูมิบังแดดภายนอกอาคาร และค่ารังสีอาทิตย์ในแต่ละทิศทางที่กระจกบังรังสีอาทิตย์ แนวทางการปรับปรุงสามารถทำได้โดยการติดตั้งแผงกันแดดนอกอาคารเพิ่มเติมในบางส่วนที่ไม่มีแผงกันแดด เนื่องจากโครงสร้างเดิมของอาคารกรณีศึกษามีแผงกันแดดภายนอกอยู่แล้วในบางส่วน อีกทั้งยังมีขนาดที่ไม่เหมาะสมกับการป้องกันแดดได้ จึงพิจารณาให้มีการติดตั้งแผงกันแดดเพิ่มเติมจากเดิมที่มีอยู่ แผงใหม่ที่นำมาติดควมใช้วัสดุนี้หนักเบา เพื่อยึดกับโครงสร้างอาคารเดิมที่มีอยู่

### 5.3 แนวทางเลือกในการปรับปรุงแต่ละองค์ประกอบอาคาร

เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารที่มีข้อจำกัดทางด้านราคาต้นทุนในการก่อสร้าง จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงราคาที่จะเปลี่ยนแปลงตามแต่ละแนวทางการปรับปรุง โดยยึดหลักที่เป็นวัสดุที่ใช้โดยทั่วไป ผลิตด้วยระบบอุตสาหกรรม ง่ายและรวดเร็วในการก่อสร้าง เพื่อความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านเทคนิคและความเป็นไปได้ในการดำเนินการ จากการศึกษาองค์ประกอบของอาคารทั้ง 2 ส่วนที่นำมาปรับปรุงนั้น สามารถสรุปวิธีการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาได้ดังนี้

#### แนวทางการปรับปรุงผนังอาคาร

- ผนังเบา โครงเคร่าเหล็กชุบสังกะสี ภายนอกกรุซีเมนต์บอร์ด 12 มม.  
ช่องว่างอากาศ 0.10 ม. ภายในยิปซัมบอร์ด 12 มม.
- ผนังเบา โครงเคร่าเหล็กชุบสังกะสี ภายนอกกรุซีเมนต์บอร์ด 12 มม.  
บุฉนวนกันความร้อนประเภทโฟมโพลีสไตรีน 1" ภายในกรุยิปซัมบอร์ด 12 มม.
- ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 0.10 ม. ฉาบเรียบทั้งสองด้าน
- ผนังก่ออิฐมวลเบาคึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบทั้งสองด้าน
- ผนังคอนกรีตบล็อก บุฉนวนกันความร้อนประเภทโฟมโพลีสไตรีน 1" ภายในยิปซัมบอร์ด

#### แนวทางการปรับปรุงหน้าต่างอาคาร

- เพิ่มกันสาดแนวนอนชนิดเกล็ดอลูมิเนียมเย็น 1.00 ม.
- กระจกสะท้อนแสง (Reflective metallic coating glass)

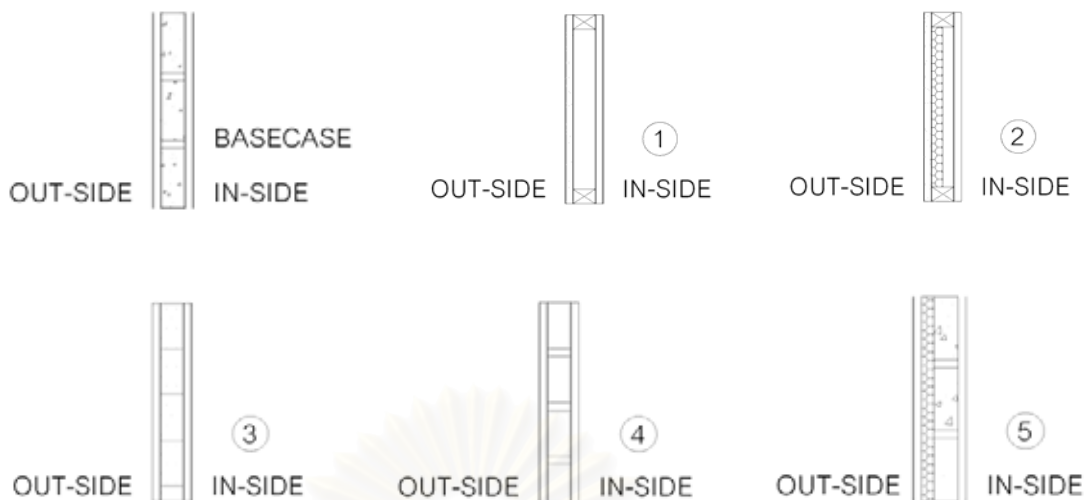
เมื่อจำลองสภาวะอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในแต่ละวิธีที่เป็นไปได้ของแต่ละองค์ประกอบอาคาร เลือกวิธีที่เหมาะสมโดยใช้เกณฑ์พิจารณาในด้านสภาวะน่าสบาย ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ ประเมินราคาในการก่อสร้างและระยะคืนทุน แล้วนำแต่ละวิธีการปรับปรุง ในแต่ละองค์ประกอบมาปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาพร้อมกัน เพื่อศึกษาผล แล้วจึงเลือกว่าควรจะมีการปรับปรุงมากน้อยเพียงใด โดยใช้เกณฑ์พิจารณาทางเลือกในด้านต้นทุนการลงทุน และระยะเวลาคืนทุนที่น้อยที่สุดอีกครั้งหนึ่ง

#### 5.4 การวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงผนังอาคาร

จากการศึกษาลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นกับอาคารกรณีศึกษา ทำให้ทราบว่าความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ของอาคารเกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านทางผนังเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งสูงถึงประมาณร้อยละ 50 ของความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยที่ผนังภายนอกของอาคารกรณีศึกษาเป็นผนังคอนกรีตบล็อกฉนวนเรียบทั้งอาคาร จากการศึกษาแนวทางที่นำมาปรับปรุงนั้น สามารถสรุปคุณสมบัติของวัสดุในแต่ละแนวทางการปรับปรุงได้ดังนี้

ตารางที่ 5.4 แสดงรายการคุณสมบัติของวัสดุผนังในแต่ละแนวทางการปรับปรุง

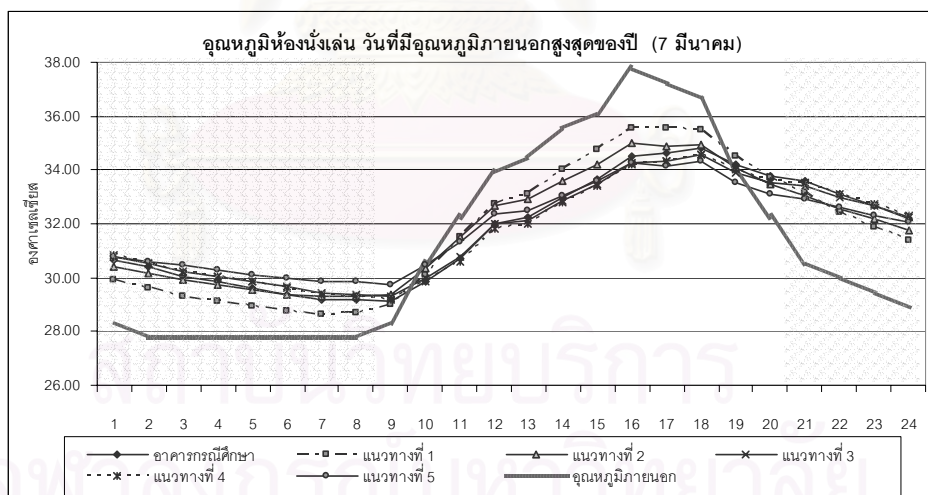
แนวทางที่	Material	Thickness (Feet)	Conductivity (Btu-Ft/Hr-Ft <sup>2</sup> -°F)	Density (Lb/Ft <sup>3</sup> )	Specific Heat (Btu/Lb-°F)	OTTV (วัตต์/ตร.ม.)	ราคาต่อตารางเมตร (บาท)	มูลค่าก่อสร้างอาคาร (บาท)
อาคารกรณีศึกษา	- Concrete Hollow-core Block	0.3333	0.3003	76.0	0.2	40.31	220	211,525
1	- Cement Board - Air-Layer 4" -Gypsum Board	0.0297 0.0417	0.3450 0.0925	120.0 50.0	0.2 0.2	41.58	424	228,457 (เพิ่มขึ้น 8%)
2	- Cement Board - Polystyrene 1" -Gypsum Board	0.0297 0.0833 0.0417	0.3450 0.0200 0.0925	120.0 1.8 50.0	0.2 0.29 0.2	23.68	470	232,275 (เพิ่มขึ้น 9.8%)
3	- Lightweight concrete Block	0.3333	0.2083	80.0	0.2	28.80	397	226,216 (เพิ่มขึ้น 6.9%)
4	- Brick	0.3333	0.4167	120.0	0.2	35.19	350	222,315 (เพิ่มขึ้น 5.1%)
5	- Concrete Hollow-core Block - Polystyrene 1" - Gypsum Board	0.3333 0.0833 0.0417	0.3003 0.0200 0.0925	76.0 1.8 50.0	0.2 0.29 0.2	21.89	475	232,690 (เพิ่มขึ้น 10%)



ภาพที่ 5.1 แสดงแบบขยายผนังแต่ละแนวทางปรับปรุง

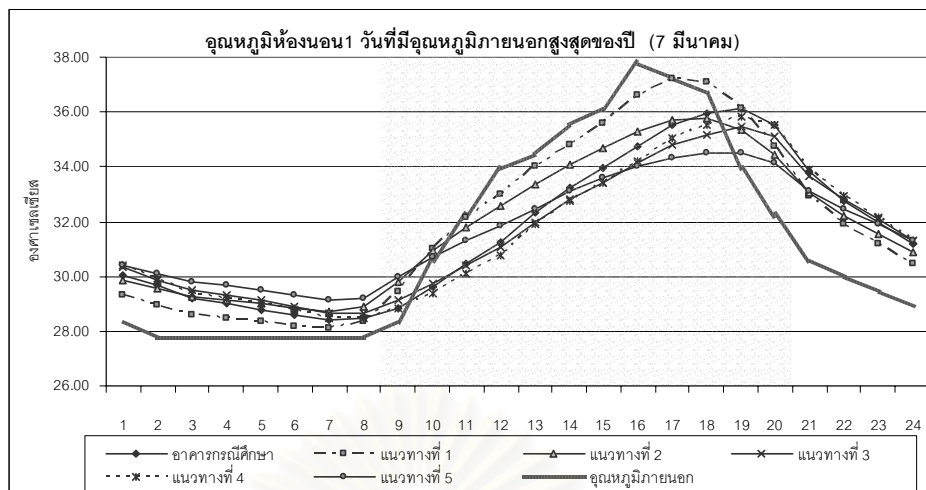
จากการเสนอแนวทางการปรับปรุงผนังอาคาร และศึกษาคุณสมบัติของวัสดุแต่ละแนวทาง จึงนำมาประเมินทางด้านอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิพื้นผิวของอาคาร ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE2 โดยจำแนกเป็นห้องๆ คือ ห้องนั่งเล่นชั้นล่าง ห้องนอน1และ2 ชั้นบน โดยกำหนดให้มีการระบายอากาศแบ่งเป็นช่วงเวลาตามพฤติกรรมผู้พักอาศัย และประเมินในช่วง 4 วันตัวแทนสภาวะอากาศตลอดทั้งปี ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ซึ่งสามารถแสดงแผนภูมิและสรุปออกมาดังต่อไปนี้

5.4.1 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

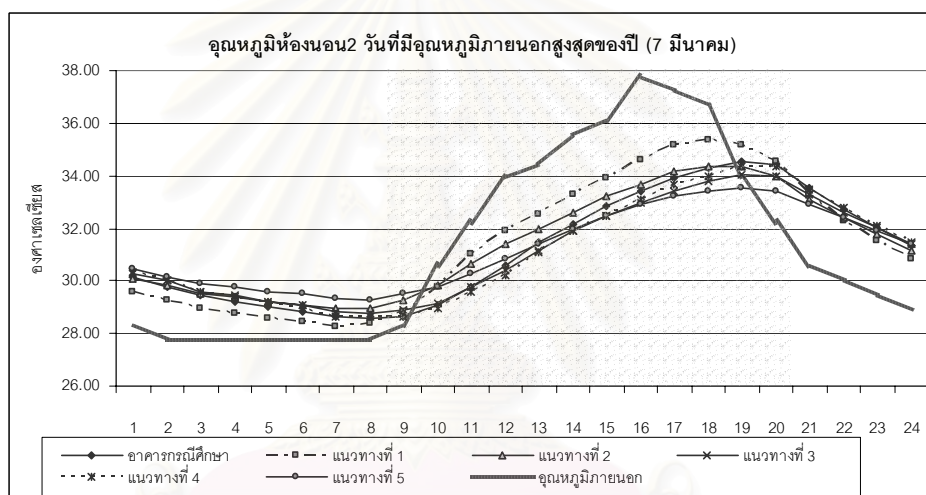


แผนภูมิที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)





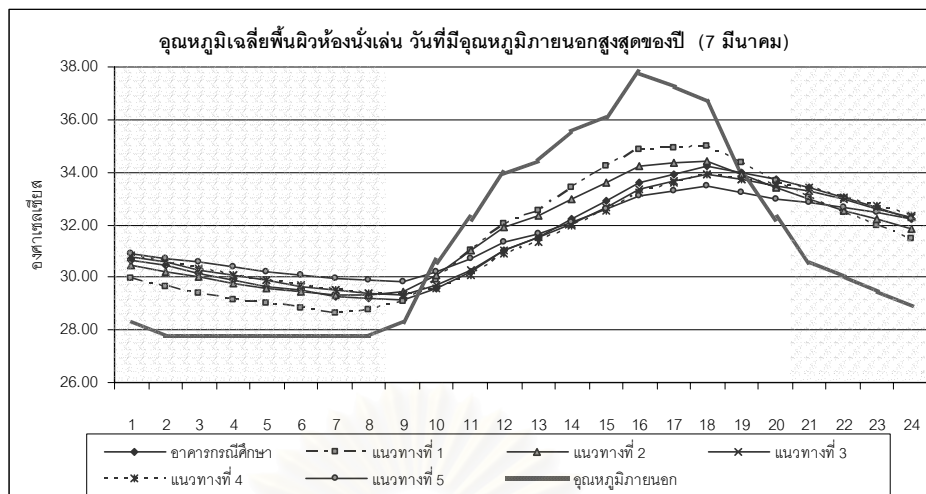
แผนภูมิที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง  
วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)



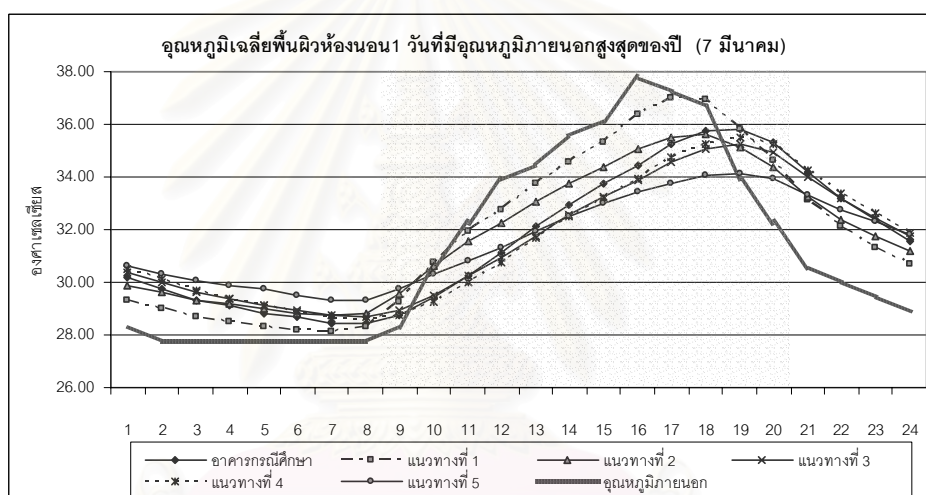
แผนภูมิที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง  
วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

ตารางที่ 5.5 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

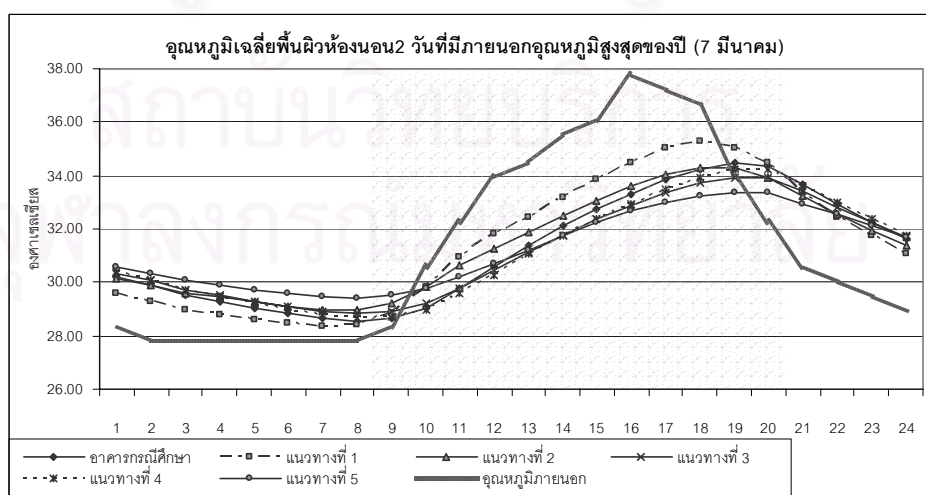
		อาคาร กรรณศึกษา	แนวทาง ที่ 1	แนวทาง ที่ 2	แนวทาง ที่ 3	แนวทาง ที่ 4	แนวทาง ที่ 5	อุณหภูมิ ภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	31.76	31.75	31.84	31.76	31.74	31.85	31.27
	สูงสุด(°C)	34.83	35.56	35.00	34.56	34.56	34.33	37.78
	ต่ำสุด(°C)	29.11	28.61	29.28	29.28	29.17	29.72	27.78
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	31.64	31.94	31.86	31.56	31.56	31.68	31.27
	สูงสุด(°C)	36.11	37.22	35.78	35.44	35.83	34.50	37.78
	ต่ำสุด(°C)	28.39	28.11	28.72	28.67	28.50	29.11	27.78
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	31.18	31.43	31.37	31.10	31.12	31.22	31.27
	สูงสุด(°C)	34.56	35.39	34.33	34.06	34.33	33.56	37.78
	ต่ำสุด(°C)	28.56	28.28	28.94	28.78	28.61	29.28	27.78



แผนภูมิที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

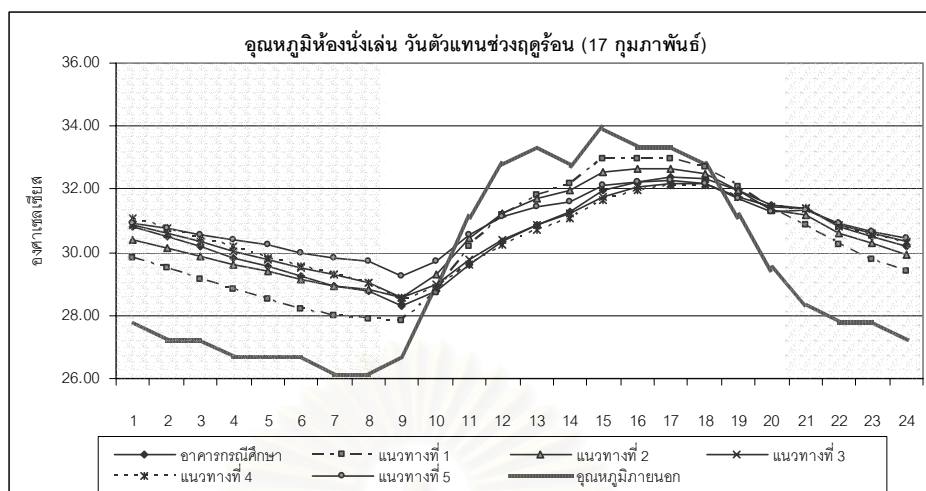
ตารางที่ 5.6 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

		อาคาร กรณีศึกษา	แนวทาง ที่ 1	แนวทาง ที่ 2	แนวทาง ที่ 3	แนวทาง ที่ 4	แนวทาง ที่ 5	อุณหภูมิ ภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	31.52	31.56	31.64	31.50	31.49	31.56	31.27
	สูงสุด(°C)	34.22	35.00	34.44	33.94	33.89	33.50	37.78
	ต่ำสุด(°C)	29.17	28.67	29.33	29.33	29.33	29.83	27.78
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	31.62	31.87	31.78	31.54	31.57	31.59	31.27
	สูงสุด(°C)	35.83	37.00	35.61	35.22	35.50	34.11	37.78
	ต่ำสุด(°C)	28.44	28.11	28.72	28.67	28.56	29.33	27.78
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	31.20	31.43	31.38	31.14	31.15	31.22	31.27
	สูงสุด(°C)	34.44	35.28	34.28	33.94	34.22	33.39	37.78
	ต่ำสุด(°C)	28.56	28.33	28.94	28.83	28.67	29.39	27.78

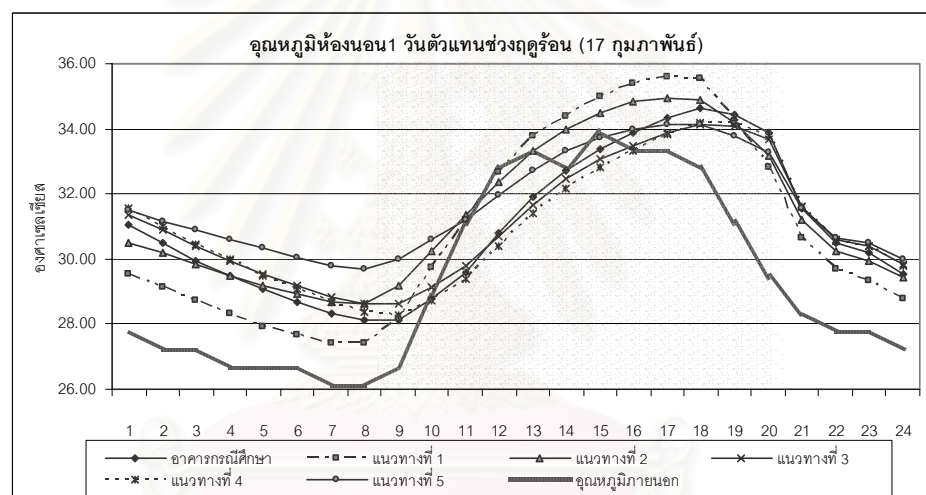
### สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงผนัง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุด

จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคารของห้องนั่งเล่น ห้องนอน1 และห้องนอน2 ในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของแต่ละแนวทางการปรับปรุงทางผนังอาคาร สามารถจำแนกได้เป็นช่วงๆ กล่าวคือ แนวทางการปรับปรุงที่1และ2 มีพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนไปในแนวทางเดียวกัน เนื่องจากเป็นผนังที่เลือกใช้วัสดุมวลสารน้อย แต่แนวทางที่ 1 จะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่รุนแรงกว่า ช่วงกลางวันอุณหภูมิภายในอาคารแนวทางที่1 จะมีอุณหภูมิสูงที่สุด โดยสูงกว่าอาคารกรณีศึกษาประมาณ 1 °C และจะมีการหน่วงความร้อนน้อยกว่าแนวทางเลือกอื่น ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้นตามอุณหภูมิภายนอกอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย ค่าการต้านทานความร้อนต่ำ จึงง่ายต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร แต่ในช่วงกลางคืนแนวทางที่1 ก็มีอุณหภูมิต่ำสุดของแนวทางการปรับปรุงในทุกๆห้อง เนื่องจากวัสดุมีการคายความร้อนที่เร็วกว่าวัสดุแนวทางอื่น ซึ่งต่ำกว่าอาคารกรณีศึกษาประมาณ 1 °C โดยเฉลี่ย ส่วนแนวทางเลือกที่มีอุณหภูมิต่ำสุดในช่วงกลางวันที่มีอุณหภูมิภายในสูงสุด คือแนวทางที่ 5 ผนังคอนกรีตบล็อกภายในกรุฉนวนกันความร้อน Polystyrene 1” ปิดทับด้วยยิปซัมบอร์ด ซึ่งทำให้อุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น ห้องนอน1 และ2 ต่ำกว่าอาคารกรณีศึกษา 0.5, 1 และ 1.5 °C ตามลำดับ แต่ในช่วงกลางคืนวัสดุประกอบประเภทนี้จะมีการคายความร้อนที่ช้าและมีอุณหภูมิภายในสูงกว่าแนวทางเลือกอื่น ในทุกห้องตลอดทั้งคืน โดยจะสูงกว่าอาคารกรณีศึกษาประมาณ 0.5 °C ส่วนแนวทางที่ 3และ 4 จะมีพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนไปในทิศทางเดียวกันกับอาคารกรณีศึกษา แต่ช่วงกลางวันจะมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งกลางวันต่ำกว่าอาคารกรณีศึกษาประมาณ 0.5 °C หากพิจารณาจากพฤติกรรมการใช้สอยแต่ละพื้นที่ภายในอาคาร ทำให้ทราบว่าแนวทางปรับปรุงผนังที่มีความเหมาะสมในส่วนของห้องนั่งเล่นชั้นล่าง ควรเป็นแนวทางที่ 4 ผนังก่ออิฐมวลฉนวนฉนวนเรียบ เนื่องจากผนังสามารถต้านทานความร้อนในช่วงกลางวันของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปีได้ดีที่สุด แต่จะคายความร้อนช้าในช่วงกลางคืน แม้ว่าผนังแนวทางที่4 จะมีอุณหภูมิในช่วงที่สูงสุดของวันที่สูงกว่าแนวทางที่5 แต่หากพิจารณาในช่วงตลอดกลางวัน แนวทางที่4 จะมีอุณหภูมิภายในที่ต่ำกว่าแนวทางอื่น ส่วนแนวทางปรับปรุงผนังที่เหมาะสมกับห้องนอน1และ2 ชั้นบน ควรพิจารณาเลือกใช้วัสดุผนังแนวทางที่1 ผนังเบาโครงเคร่ากรูยิปซัมบอร์ด เนื่องจากวัสดุมีการหน่วงความร้อนต่ำ ทำให้ผนังสามารถคายความร้อนออกสู่ภายนอกได้เร็วในช่วงกลางคืนที่มีการใช้สอยพื้นที่นี้

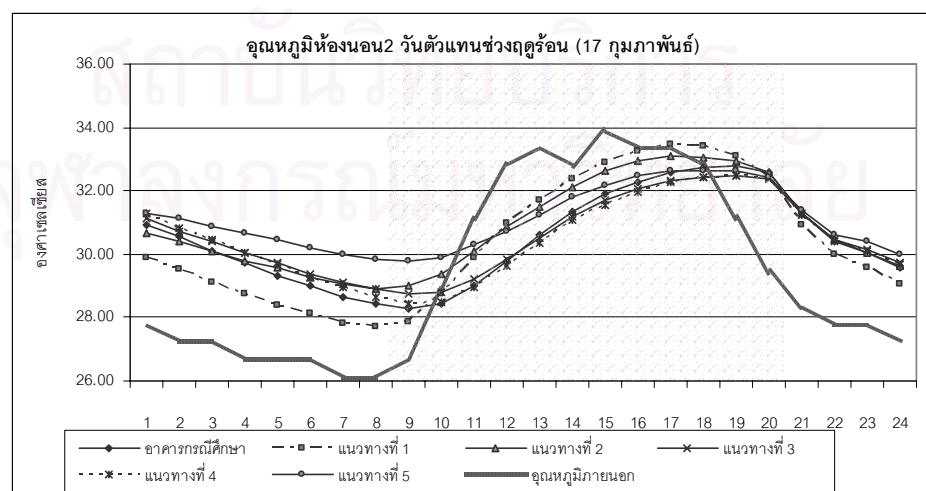
#### 5.4.2 การเปรียบเทียบวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



แผนภูมิที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง  
วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



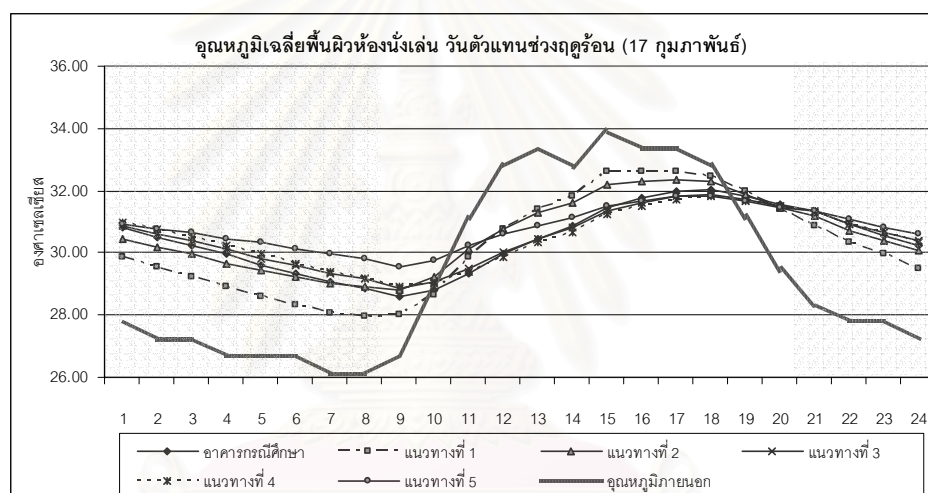
แผนภูมิที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง  
วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



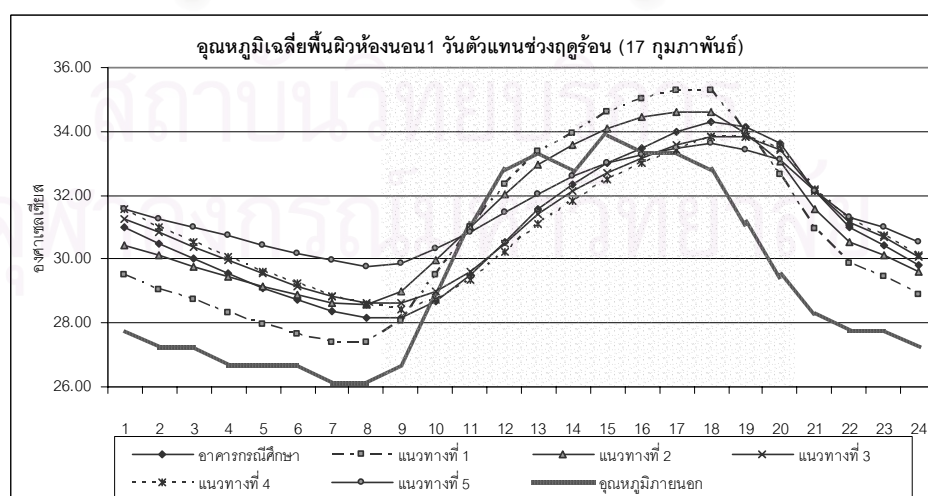
แผนภูมิที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง  
วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)

ตารางที่ 5.7 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)

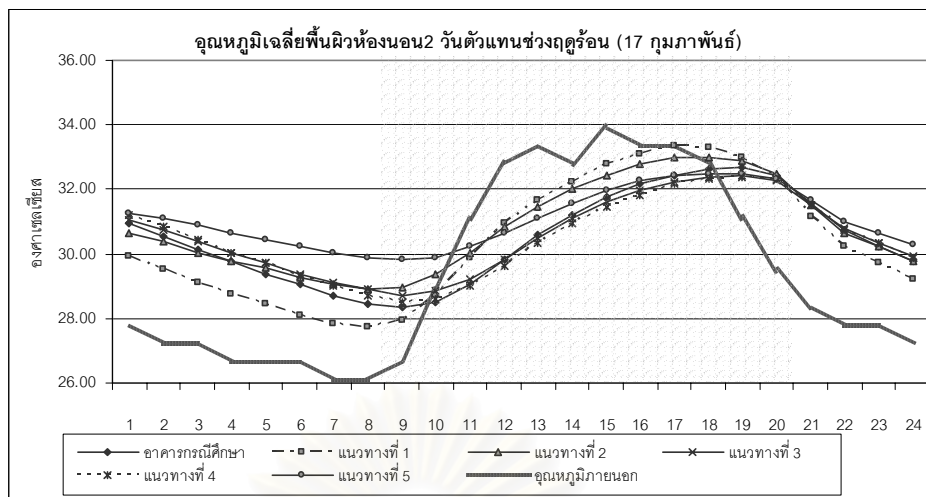
		อาคาร กรณีศึกษา	แนวทาง ที่ 1	แนวทาง ที่ 2	แนวทาง ที่ 3	แนวทาง ที่ 4	แนวทาง ที่ 5	อุณหภูมิ ภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	30.51	30.29	30.63	30.58	30.55	30.89	29.38
	สูงสุด(°C)	32.39	32.94	32.67	32.17	32.11	32.28	33.89
	ต่ำสุด(°C)	28.28	27.83	28.56	28.56	28.44	29.22	26.11
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	30.97	30.96	31.38	31.07	30.97	31.65	29.38
	สูงสุด(°C)	34.61	35.61	34.94	34.11	34.17	34.11	33.89
	ต่ำสุด(°C)	28.11	27.39	28.61	28.61	28.28	29.67	26.11
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	30.43	30.38	30.81	30.53	30.44	31.06	29.38
	สูงสุด(°C)	32.78	33.44	33.11	32.50	32.50	32.61	33.89
	ต่ำสุด(°C)	28.28	27.72	28.89	28.72	28.44	29.78	26.11



แผนภูมิที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง  
วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



แผนภูมิที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน 1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง  
วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



แผนภูมิที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง  
วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17กุมภาพันธ์ 2542)

ตารางที่ 5.8 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันตัวแทนฤดูร้อน (17กุมภาพันธ์ 2542)

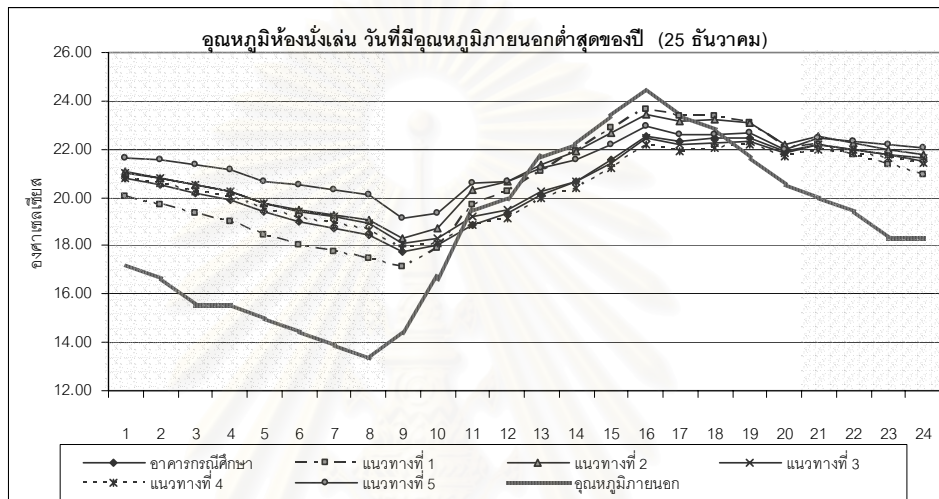
		อาคาร กรณีศึกษา	แนวทาง ที่ 1	แนวทาง ที่ 2	แนวทาง ที่ 3	แนวทาง ที่ 4	แนวทาง ที่ 5	อุณหภูมิ ภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	30.42	30.22	30.55	30.49	30.48	30.79	29.38
	สูงสุด(°C)	32.06	32.61	32.33	31.89	31.83	31.83	33.89
	ต่ำสุด(°C)	28.61	27.94	28.78	28.83	28.89	29.56	26.11
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	30.92	30.84	31.25	31.02	30.97	31.54	29.38
	สูงสุด(°C)	34.28	35.28	34.61	33.83	33.83	33.61	33.89
	ต่ำสุด(°C)	28.17	27.39	28.56	28.61	28.44	29.78	26.11
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	30.46	30.38	30.80	30.54	30.47	31.06	29.38
	สูงสุด(°C)	32.67	33.33	33.00	32.44	32.39	32.50	33.89
	ต่ำสุด(°C)	28.33	27.72	28.89	28.72	28.50	29.83	26.11

### สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงผนัง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน

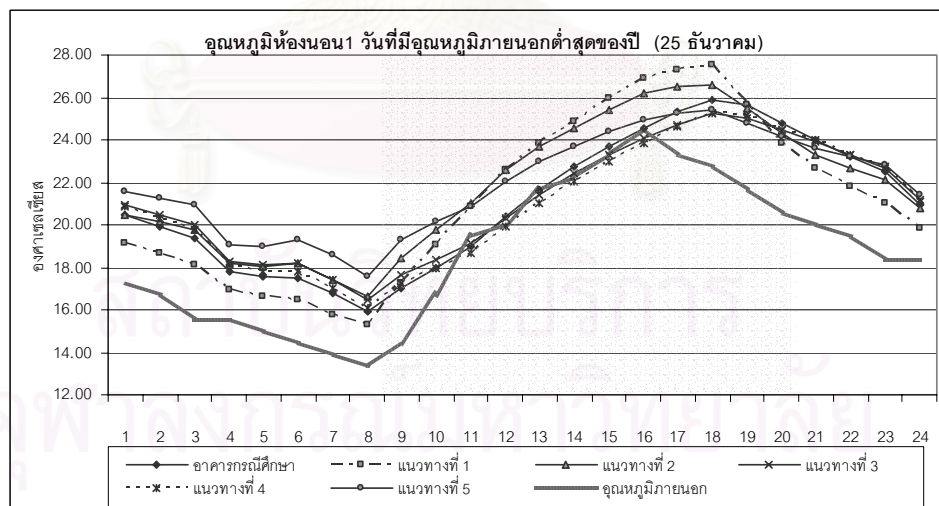
จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวในวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542) ของห้องนั่งเล่น ห้องนอน1และ2 ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของวัสดุผนังแต่ละแนวทางเลือกปรับปรุงนั้นเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี กล่าวคือ ช่วงกลางวันวัสดุผนังที่มีอุณหภูมิภายในสูงสุดจะเป็นแนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2 เป็นลำดับรองลงมา ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าอาคารกรณีศึกษาถึง 1-1.5 °C โดยเฉลี่ย ซึ่งเกิดขึ้นเร็วกว่าอาคารกรณีศึกษา และเกิดภายหลังจากอุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 1 ชั่วโมง เนื่องจากวัสดุทั้งสองแนวทางเป็นผนังมวลสารน้อย ซึ่งแนวทางที่ 1 จะไม่มีฉนวนกันความร้อน เป็นเพียงช่องว่างอากาศ 0.10 ม. จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่า เกิดอุณหภูมิภายในสูงสุดและเปลี่ยนแปลงรวดเร็วตามอุณหภูมิภายนอก ส่วนวัสดุผนังที่ทำให้อุณหภูมิภายในต่ำสุดในช่วงกลางวัน จะเป็นแนวทางที่ 4 ซึ่งเป็นผนังก้ออิฐมวลฉนวนครึ่งแผ่น ซึ่งมีพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนไปในทิศทางเดียวกันกับวัสดุผนังอาคารกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นผนังที่มีมวลสารมาก มีการหน่วงความร้อนสูง จึงทำ

ให้อุณหภูมิสูงสุดภายในอาคารอยู่ในช่วง 19.00-20.00 น. โดยมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอาคารกรณีศึกษาเล็กน้อย แต่ในช่วงกลางคืนแนวทางปรับปรุงที่มีอุณหภูมิภายในต่ำสุดเป็นแนวทางที่1 ซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอาคารกรณีศึกษา 1-1.5 °C โดยเฉลี่ย และสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของวันประมาณ 2 °C เนื่องจากผนังแนวทางที่1 เป็นผนังมวลสารน้อย มีการคายความร้อนที่เร็วกว่าวัสดุผนังแนวทางอื่น จึงเป็นวัสดุผนังที่เหมาะสมกับห้องที่มีการใช้สอยพื้นที่ในช่วงกลางวัน เช่นห้องนอน1 และ2 โดยแนวทางที่1 นี้จะมีลักษณะอุณหภูมิลดลงตั้งแต่ 19.00 น. จนกระทั่งลดต่ำสุดในช่วง 8.00 น. ซึ่งเป็นไปในรูปแบบเดียวกันกับอุณหภูมิภายนอก

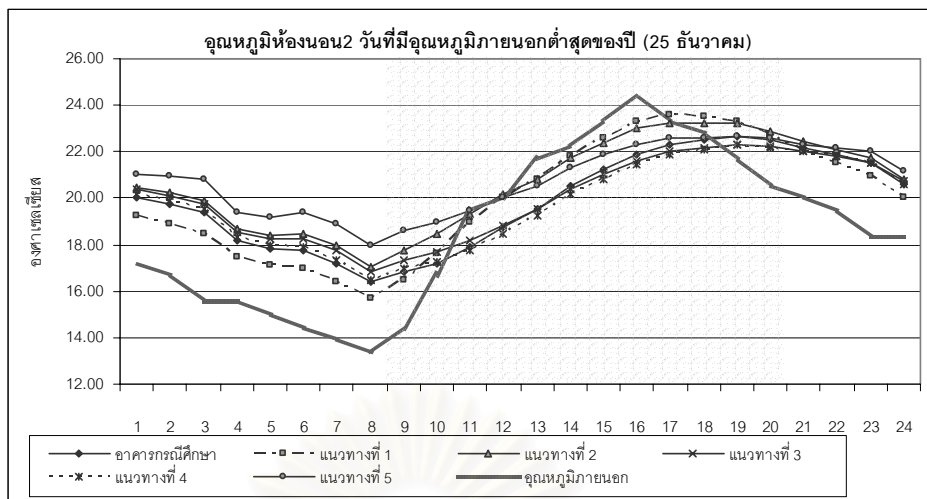
5.4.3 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนังวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม2542)



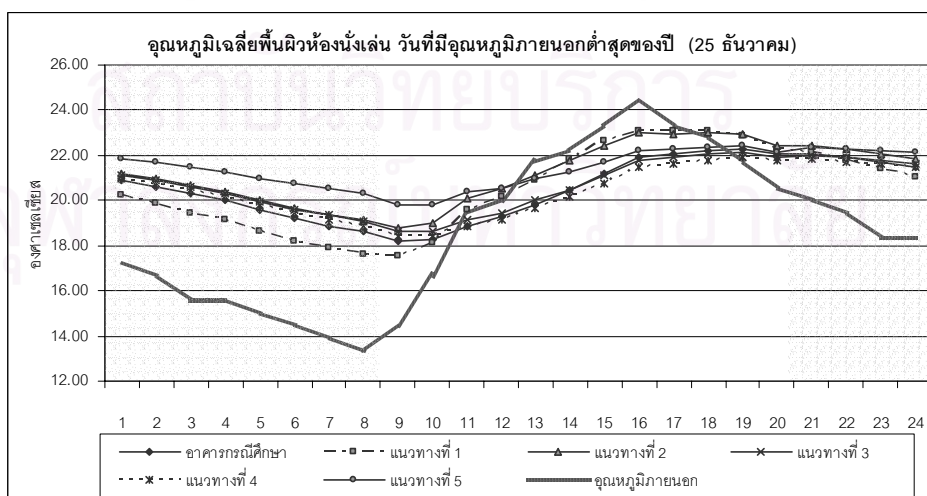
แผนภูมิที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนังวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม2542)



แผนภูมิที่ 5.18 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม2542)

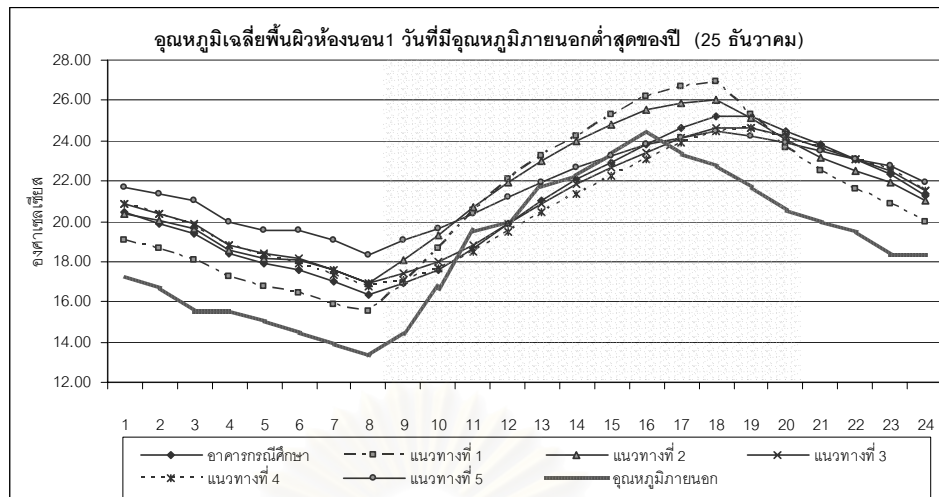
ตารางที่ 5.9 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)

		อาคารกรณีศึกษา	แนวทางที่ 1	แนวทางที่ 2	แนวทางที่ 3	แนวทางที่ 4	แนวทางที่ 5	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย ( °C )	20.52	20.52	21.17	20.67	20.45	21.41	18.68
	สูงสุด(°C)	22.56	23.61	23.44	22.44	22.22	22.94	24.44
	ต่ำสุด(°C)	17.72	17.11	18.33	18.11	17.89	19.17	13.33
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย ( °C )	21.03	21.16	21.76	21.12	20.92	21.93	18.68
	สูงสุด(°C)	25.89	27.56	26.61	25.22	25.28	25.39	24.44
	ต่ำสุด(°C)	15.94	15.28	16.61	16.44	16.11	17.56	13.33
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย ( °C )	19.85	19.97	20.60	19.97	19.76	20.78	18.68
	สูงสุด(°C)	22.67	23.56	23.22	22.33	22.28	22.67	24.44
	ต่ำสุด(°C)	16.39	15.72	17.06	16.83	16.50	17.94	13.33

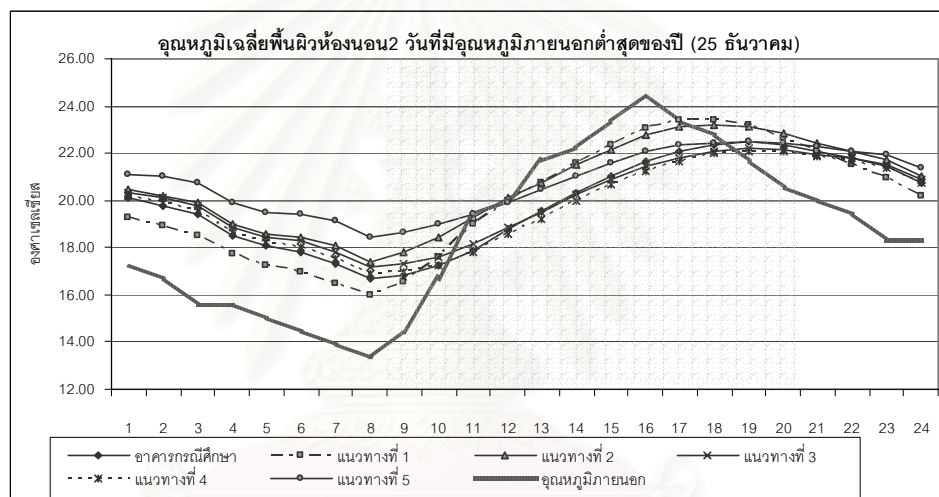


แผนภูมิที่ 5.19 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม2542)





แผนภูมิที่ 5.20 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน 1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.21 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน 2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)

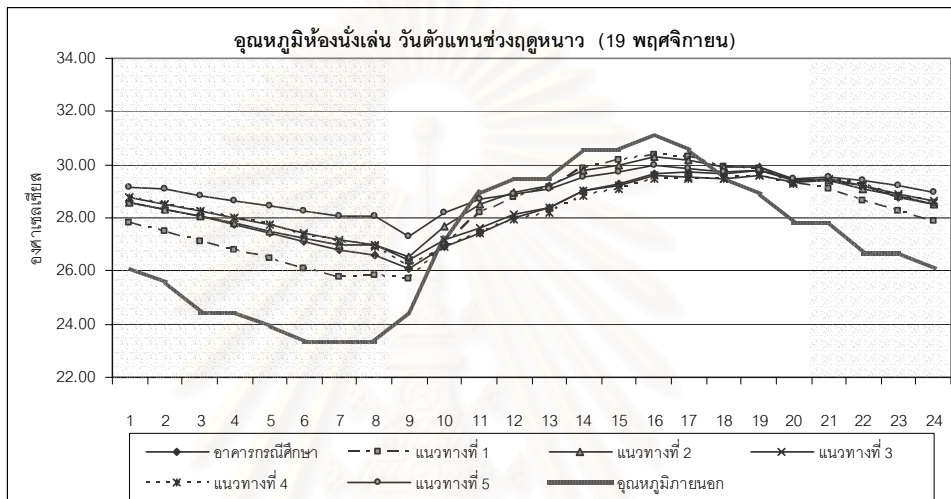
ตารางที่ 5.10 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)

		อาคารกรรณศึกษา	แนวทางที่ 1	แนวทางที่ 2	แนวทางที่ 3	แนวทางที่ 4	แนวทางที่ 5	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	20.50	20.52	21.17	20.65	20.42	21.41	18.68
	สูงสุด(°C)	22.28	23.11	23.00	22.17	21.89	22.44	24.44
	ต่ำสุด(°C)	18.22	17.56	18.78	18.61	18.44	19.83	13.33
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	20.82	20.93	21.52	20.93	20.75	21.69	18.68
	สูงสุด(°C)	25.22	26.94	26.06	24.67	24.61	24.44	24.44
	ต่ำสุด(°C)	16.39	15.56	16.94	16.89	16.72	18.33	13.33
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	19.86	19.97	20.59	19.97	19.76	20.79	18.68
	สูงสุด(°C)	22.50	23.39	23.17	22.22	22.11	22.50	24.44
	ต่ำสุด(°C)	16.72	16.00	17.39	17.17	16.89	18.44	13.33

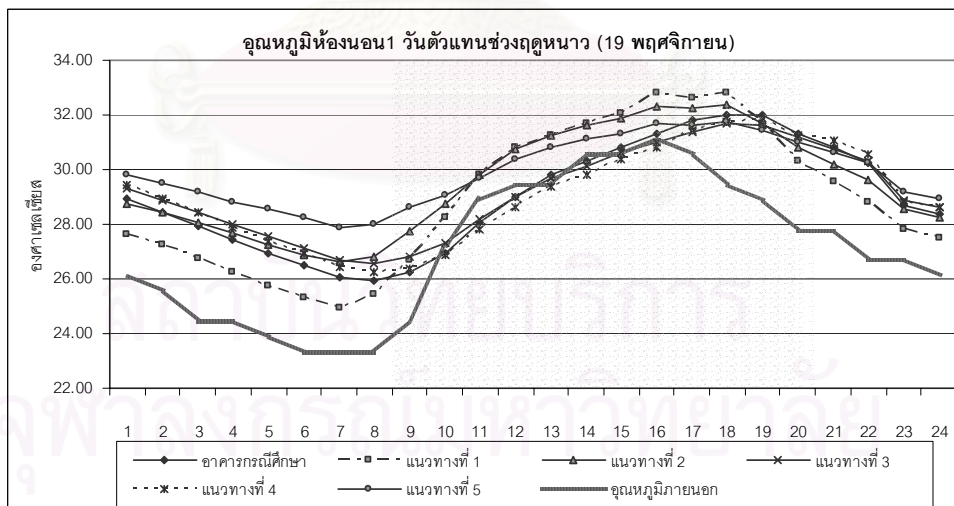
**สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงผนัง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี**

จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคารของห้องนั่งเล่น ห้องนอน1 และห้องนอน2 ในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม) ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของแต่ละแนวทางการปรับปรุงทางผนังอาคาร ซึ่งจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิภายในทุกแนวทางปรับปรุงจะอยู่ต่ำกว่าระดับสภาวะน่าสบายตลอดทั้งวัน ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของแต่ละแนวทางเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน กับ 2 วันตัวแทนที่ได้กล่าวมาแล้ว

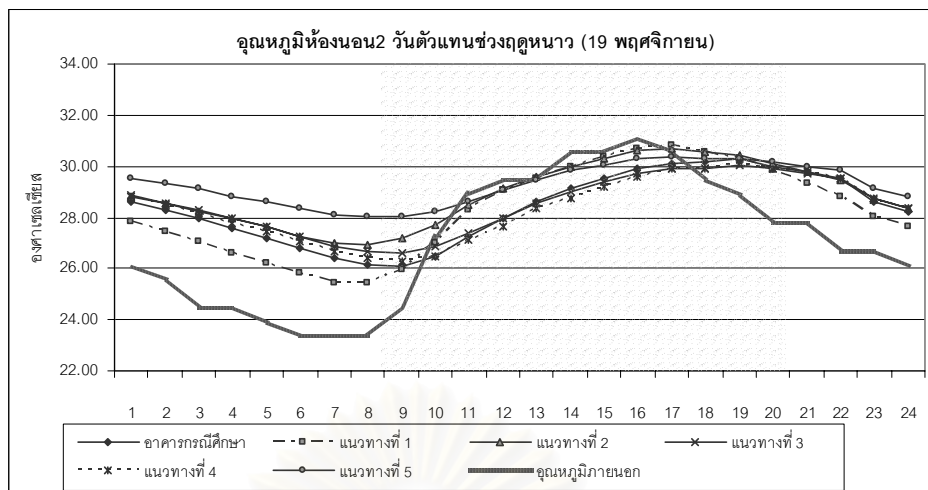
**5.4.4 การเปรียบเทียบวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)**



แผนภูมิที่ 5.22 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



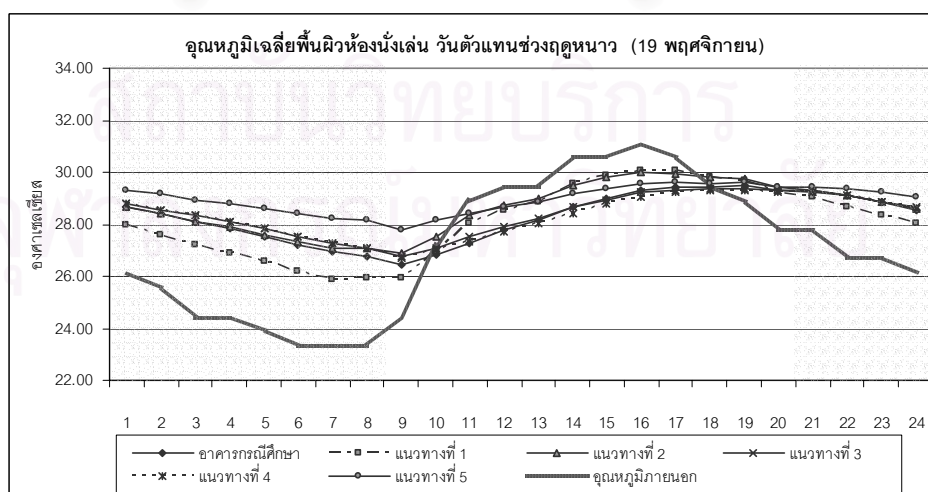
แผนภูมิที่ 5.23 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



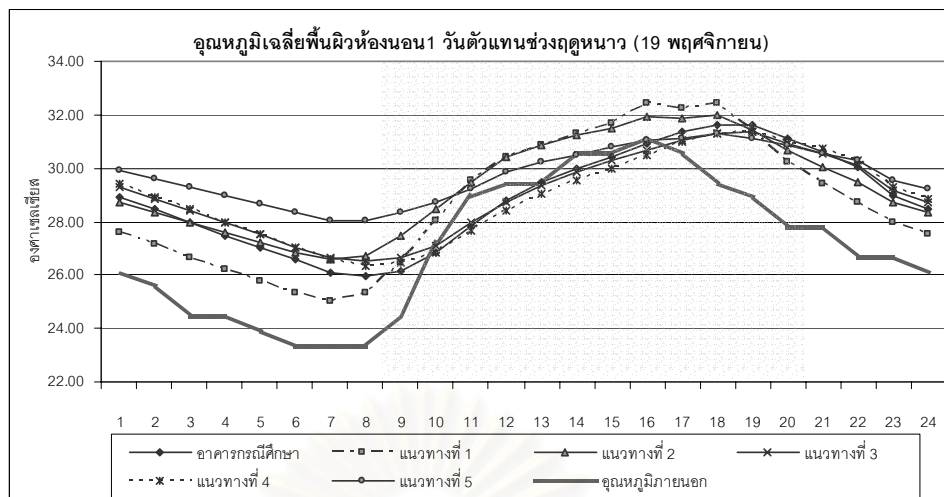
แผนภูมิที่ 5.24 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน 2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง  
วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)

ตารางที่ 5.11 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)

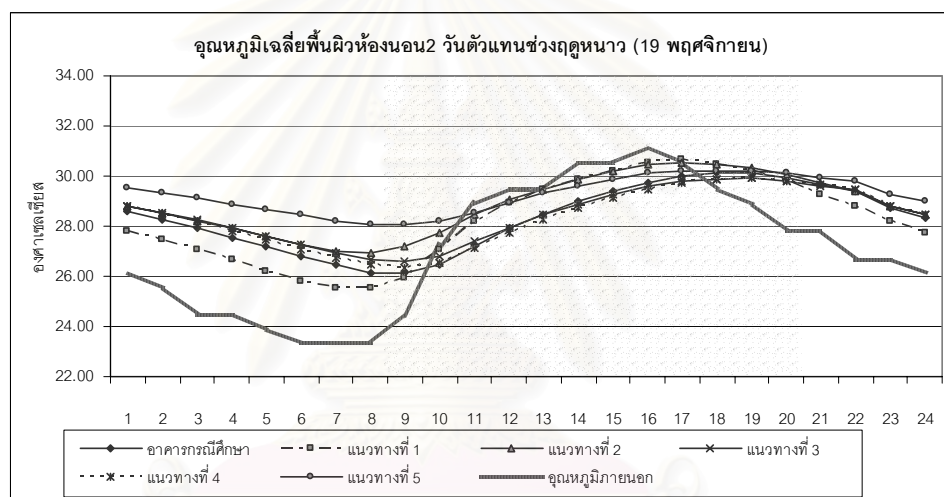
		อาคารกรณีศึกษา	แนวทางที่ 1	แนวทางที่ 2	แนวทางที่ 3	แนวทางที่ 4	แนวทางที่ 5	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	28.33	28.16	28.65	28.44	28.37	29.00	27.08
	สูงสุด (°C)	29.78	30.39	30.28	29.61	29.61	30.00	31.11
	ต่ำสุด (°C)	26.06	25.72	26.56	26.39	26.22	27.28	23.33
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	29.01	28.91	29.52	29.16	29.05	29.90	27.08
	สูงสุด (°C)	32.00	32.83	32.39	31.67	31.83	31.78	31.11
	ต่ำสุด (°C)	25.94	24.94	26.61	26.56	26.28	27.89	23.33
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	28.35	28.26	28.90	28.49	28.35	29.27	27.08
	สูงสุด (°C)	30.28	30.83	30.67	30.06	30.11	30.39	31.11
	ต่ำสุด (°C)	26.11	25.44	26.94	26.61	26.28	28.00	23.33



แผนภูมิที่ 5.25 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง  
วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



แผนภูมิที่ 5.26 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน 1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง  
วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



แผนภูมิที่ 5.27 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน 2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงผนัง  
วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)

ตารางที่ 5.12 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)

		อาคาร กรณีศึกษา	แนวทาง ที่ 1	แนวทาง ที่ 2	แนวทาง ที่ 3	แนวทาง ที่ 4	แนวทาง ที่ 5	อุณหภูมิ ภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	28.27	28.12	28.62	28.38	28.31	28.95	27.08
	สูงสุด (°C)	29.50	30.06	30.00	29.39	29.33	29.61	31.11
	ต่ำสุด (°C)	26.44	25.89	26.89	26.78	26.72	27.78	23.33
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	28.86	28.74	29.33	29.00	28.93	29.73	27.08
	สูงสุด (°C)	31.61	32.44	32.00	31.33	31.39	31.28	31.11
	ต่ำสุด (°C)	25.94	25.00	26.56	26.50	26.33	28.00	23.33
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	28.32	28.23	28.86	28.46	28.34	29.24	27.08
	สูงสุด (°C)	30.11	30.67	30.56	29.94	29.94	30.22	31.11
	ต่ำสุด (°C)	26.17	25.50	26.94	26.61	26.33	28.06	23.33

### สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงผนัง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว

จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวในวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542) ของห้องนั่งเล่น ห้องนอน1และ2 ทำให้ทราบถึงอุณหภูมิภายในช่วงฤดูหนาว ของผนังแต่ละแนวทางเลือกปรับปรุงอยู่ในระดับสภาวะน่าสบายตลอดทั้งวัน ลักษณะพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังแต่ละแนวทางมีทิศทางในรูปแบบเดียวกันกับวันตัวแทนทั้ง 3 ที่ได้กล่าวมาแล้ว เว้นเพียงแต่ช่วงกลางวันห้องนอน 1 ซึ่งจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิภายนอกทุกแนวทาง และสูงกว่าระดับสภาวะน่าสบายเล็กน้อย เนื่องจากห้องนี้อยู่ทางทิศใต้ของอาคาร ซึ่งได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์และห้องชั้นบนได้กำหนดให้ไม่มีภาวะระบายอากาศในช่วงกลางวัน

#### 5.4.5 สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงผนังอาคาร

หากพิจารณาตามพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังแต่ละแนวทางสามารถสรุปโดยรวมได้ดังนี้

- **แนวทางที่ 1** ผนังเบา ภายนอกซีเมนต์บอร์ด12 มม. ช่องว่างอากาศ 0.10 ม. ภายในยิปซัมบอร์ด12 มม. มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในที่รุนแรง ผันแปรตามอุณหภูมิภายนอก ประมาณ 1-1.5 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นผนังมวลสารน้อย ค่าการต้านทานความร้อนต่ำ สามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ไม่เหมาะกับการเป็นผนังห้องที่ใช้สอยในช่วงกลางวัน แต่ในช่วงกลางคืนผนังแนวทางนี้จะมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีการคายความร้อนได้รวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิภายในต่ำลงและเร็วที่สุด ซึ่งจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกในช่วงกลางคืนไม่เกิน  $1^{\circ}\text{C}$
- **แนวทางที่ 2** ผนังเบา ภายนอกซีเมนต์บอร์ด บุนนวมกันความร้อนประเภทโฟม 1" ภายในยิปซัมบอร์ด มีลักษณะพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับแนวทางที่ 1 แต่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแต่ละช่วงเวลาจะน้อยกว่า เนื่องจากมีฉนวนช่วยลดการถ่ายเทและคายความร้อน แต่ก็ยังคงเปลี่ยนแปลงรุนแรงกว่าแนวทางอื่น
- **แนวทางที่ 3** ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบเรียบทั้งสองด้าน พฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนคล้ายกับอาคารกรณีศึกษา แต่ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในสูงสุด-ต่ำสุด จะน้อยกว่าอาคารกรณีศึกษาเล็กน้อย เนื่องจากวัสดุมีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำกว่าอาคารกรณีศึกษา
- **แนวทางที่ 4** ผนังก่ออิฐมวลเบาครึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบทั้งสองด้าน ลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะคล้ายกับอาคารกรณีศึกษาและแนวทางที่ 3 แต่ช่วงกลางวันจะดีกว่าทั้ง 2 แนวทางเล็กน้อย เป็นแนวทางที่เหมาะสมกับการใช้ในส่วนห้องที่มีการใช้สอยพื้นที่ในช่วงกลางวัน
- **แนวทางที่ 5** ผนังคอนกรีตบล็อก ภายในกรุฉนวนกันความร้อนประเภทโฟม 1" ปิดทับด้วยยิปซัมบอร์ดหนา 12 มม. ซึ่งพฤติกรรมกรรมการถ่ายเทความร้อนจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นผนังประกอบ ที่มีมวลสารและฉนวนร่วมกัน จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิช้าและน้อยสุด ในช่วงกลางคืนแนวทางนี้จะมีอุณหภูมิสูงสุด เนื่องจากวัสดุมีการคายความร้อนได้ช้ากว่าแนวทางอื่น

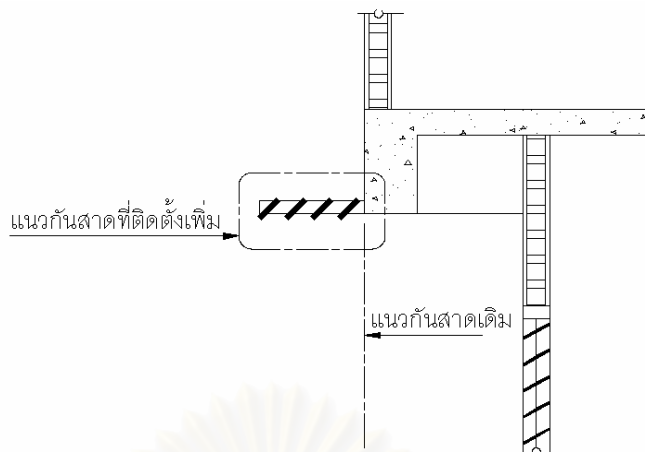
จากการศึกษาลักษณะพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของวัสดุผนังในแต่ละแนวทางการปรับปรุง สามารถสรุปแนวทางการปรับปรุงได้เป็น 2 แนวทาง คือห้องนั่งเล่นชั้นล่าง ซึ่งมีการใช้สอยในช่วงกลางวัน ควรใช้ วัสดุที่มีมวลสารมากเข้าช่วยในการหน่วงความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา ซึ่งเป็นวัสดุผนังแนวทางการที่ 4 ส่วนห้องนอน1 และ2 ชั้นบน ซึ่งมีการใช้สอยพื้นที่นี้ในช่วงกลางคืน มีอุณหภูมิภายนอกต่ำ ควรเลือกใช้วัสดุมวลสารน้อย คาย ความร้อนได้เร็ว ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในลดต่ำลงรวดเร็ว และใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกมากที่สุด ซึ่งเป็น วัสดุผนังแนวทางการที่ 1 ส่วนวัสดุประกอบที่มีฉนวนกันความร้อนร่วมด้วย ในแนวทางการที่2 และ5 นั้น แนวทางการที่2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจะเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับแนวทางการที่1 แต่ความแตกต่างของอุณหภูมิ ภายในสูงสุด-ต่ำสุดจะมีค่าน้อยกว่า ส่วนแนวทางการที่5 จะมีความแตกต่างของอุณหภูมิภายในสูงสุด-ต่ำสุดน้อย ที่สุด ทำให้ช่วงกลางคืนมีอุณหภูมิภายในที่สูงที่สุด และช่วงกลางวันแม้จะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในที่ช้า กว่าแนวทางเลือกอื่น แต่ก็ยังคงสูงกว่าอาคารกรณีศึกษา

### 5.5 การวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงหน้าต่างอาคาร

จากการศึกษาลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นกับอาคารกรณีศึกษา ทำให้ทราบว่าความร้อนที่เกิดขึ้นส่วน หนึ่งนั้นเกิดจากการถ่ายเทความร้อนและการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เข้ามาทางหน้าต่างอาคาร โดยที่หน้าต่างของ อาคารกรณีศึกษาเป็นบานเกล็ดกระจกใสติดฟิล์มสีดำหนา 5 มม.ทั้งอาคาร จากการศึกษานี้แนวทางการที่เหมาะสม กับการนำมาปรับปรุงนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แนวทางการปรับปรุง โดยแนวทางการที่ 1 เป็นการติดตั้งกัน สาดแนวอนชนิดเกล็ดอลูมิเนียม โดยยื่นจากแนวกันสาดเดิมให้มีระยะ 1.00 เมตร ในทุกช่องหน้าต่าง เพื่อเป็น การเปรียบเทียบในกรณีของการลดค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ว่าหากมีการเพิ่มแนวกันสาด จะสามารถช่วยลด ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารได้ดีหรือไม่ โดยได้ทำการปรับปรุงในส่วนหน้าต่างด้านตะวันออกของห้องนั่งเล่น ซึ่งเพิ่มเติมจากเดิมที่มีระยะยื่น 0.70 ม. เป็น 1.00 ม. หน้าต่างด้านทิศใต้ของห้องนอน 1 ซึ่งเดิมมีกันสาดยื่นอยู่ แล้ว 0.50 ม. เพิ่มขึ้นอีก 0.50 ม. เป็น 1.00 ม. และหน้าต่างด้านทิศเหนือของห้องนอน 2 ซึ่งไม่มีกันสาดช่วย ป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ ได้เพิ่มกันสาดยื่น 1.00 ม. กับหน้าต่างในด้านนี้ ส่วนแนวทางการที่ 2 เป็นการปรับเปลี่ยน ชนิดกระจกทั้งอาคาร ให้เป็นกระจกสะท้อนแสง โดยสามารถสรุปคุณสมบัติในแต่ละแนวทางการปรับปรุง ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.13 แสดงรายการคุณสมบัติหน้าต่างในแต่ละแนวทางการปรับปรุง

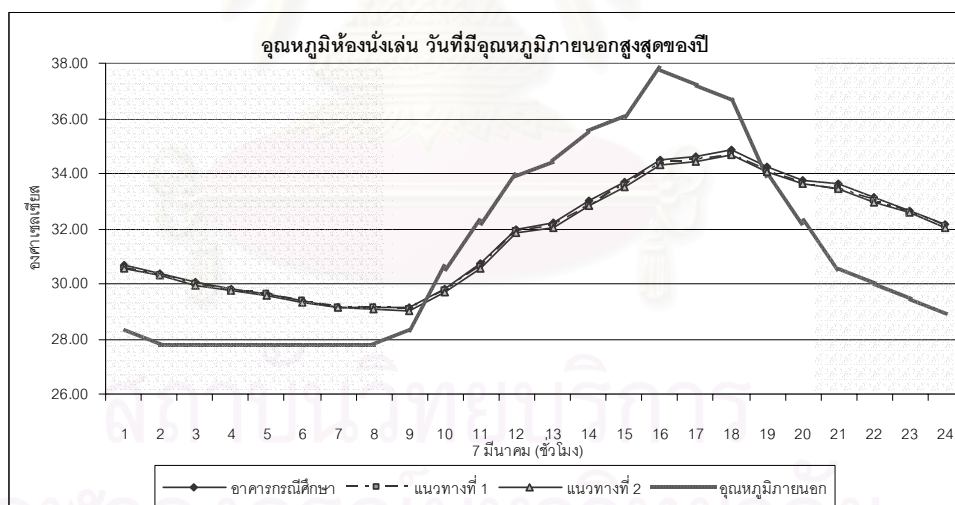
แนวทางการ	Material	Thickness (mm.)	Conductivity (w/m <sup>2</sup> hr °C)	Shading Coefficient (SC)	OTTV (วัตต์/ตร.ม.)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ค่าก่อสร้างอาคารรวม (บาท)
อาคารกรณีศึกษา	กระจกใส ติดฟิล์มสีดำ	5	5.83	0.64	40.31	ตร.ฟ. ละ 36 บาท	211,525
1	เพิ่มกันสาดแนวอนชนิดเกล็ดอลูมิเนียม	-	-	0.33	39.40	ตร.ม. ละ 450 บาท	212,718 (เพิ่มขึ้น 0.6%)
2	กระจกสะท้อนแสง (Reflective metallic coating glass)	6	5.08	0.32	39.70	ตร.ฟ. ละ 72 บาท	213,901 (เพิ่มขึ้น 1.1%)



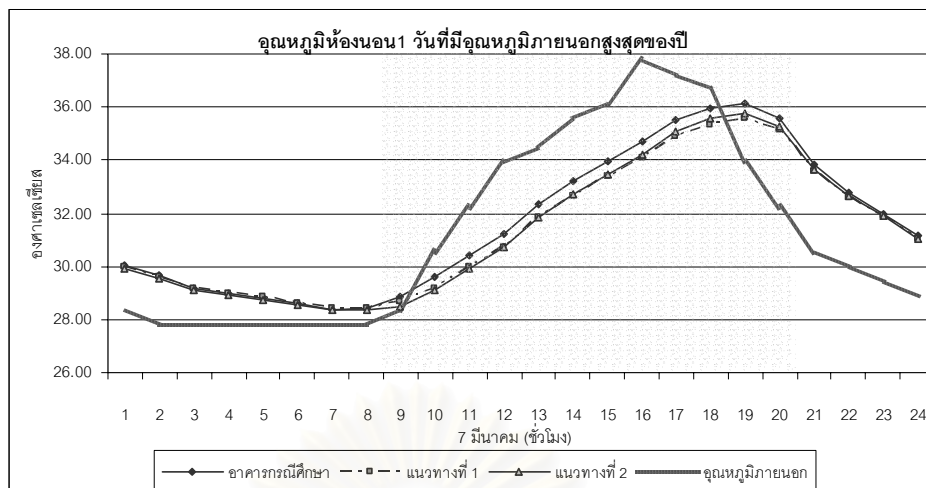
ภาพที่ 5.2 แสดงลักษณะของแนวกันสาดอลูมิเนียมที่ติดตั้งเพิ่ม

จากการเสนอแนวทางการปรับปรุงหน้าต่างอาคาร และศึกษาคุณสมบัติแต่ละแนวทาง จึงนำมาประเมินทางด้านอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิพื้นผิวของอาคาร ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE2 โดยจำแนกเป็นห้องๆ คือ ห้องนั่งเล่นชั้นล่าง ห้องนอน1และ2 ชั้นบน โดยกำหนดให้มีการระบายอากาศแบ่งเป็นช่วงเวลาตามพฤติกรรมผู้พักอาศัย และประเมินในช่วง 4 วันตัวแทนสภาวะอากาศตลอดทั้งปี ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ซึ่งสามารถแสดงแผนภูมิและสรุปออกมาดังต่อไปนี้

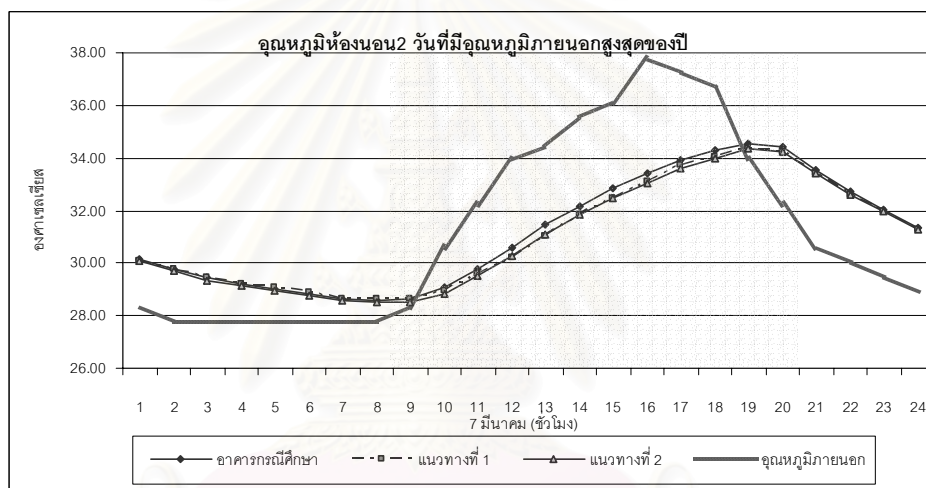
#### 5.5.1 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.28 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.29 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง  
วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

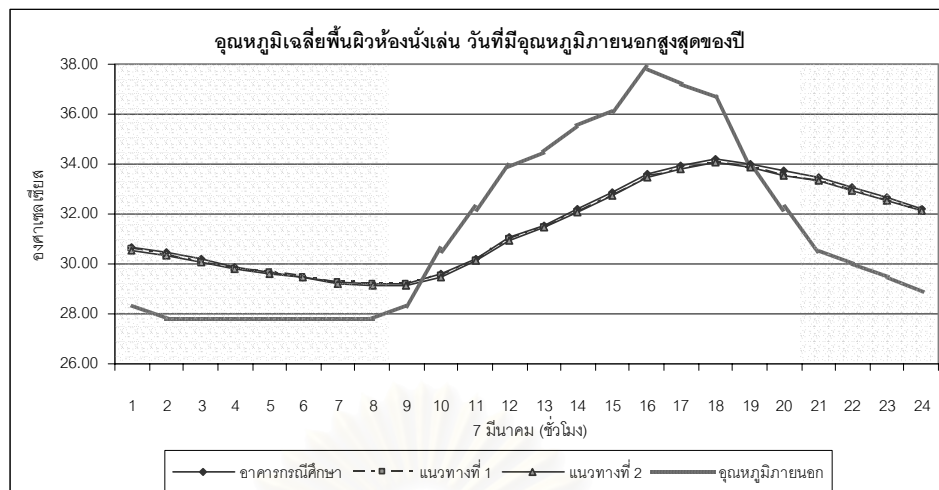


แผนภูมิที่ 5.30 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง  
วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

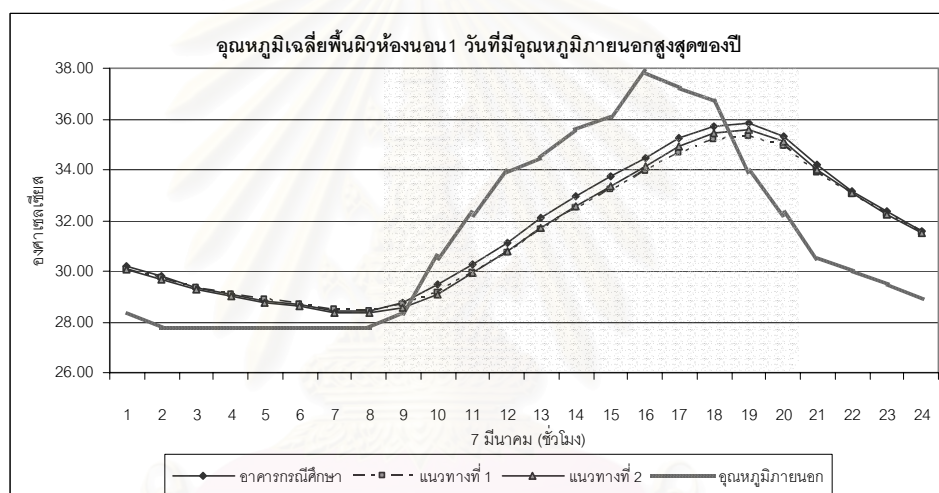
ตารางที่ 5.14 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

		อาคารกรณีศึกษา	แนวทางที่ 1	แนวทางที่ 2	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	31.76	31.67	31.63	31.27
	สูงสุด(°C)	34.83	34.67	34.67	37.78
	ต่ำสุด(°C)	29.11	29.06	29.00	27.78
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	31.64	31.36	31.37	31.27
	สูงสุด(°C)	36.11	35.56	35.78	37.78
	ต่ำสุด(°C)	28.39	28.44	28.33	27.78
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	31.18	31.05	31.00	31.27
	สูงสุด(°C)	34.56	34.33	34.33	37.78
	ต่ำสุด(°C)	28.56	28.61	28.50	27.78

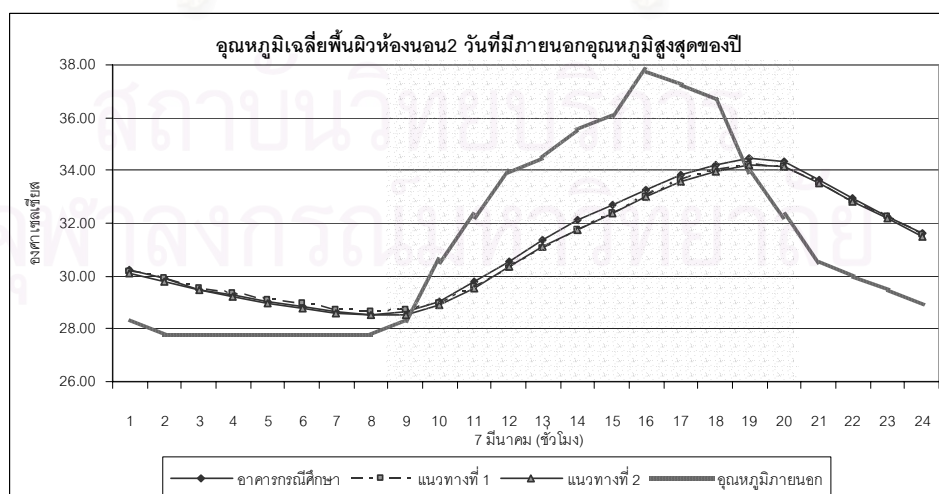




แผนภูมิที่ 5.31 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.32 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.33 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

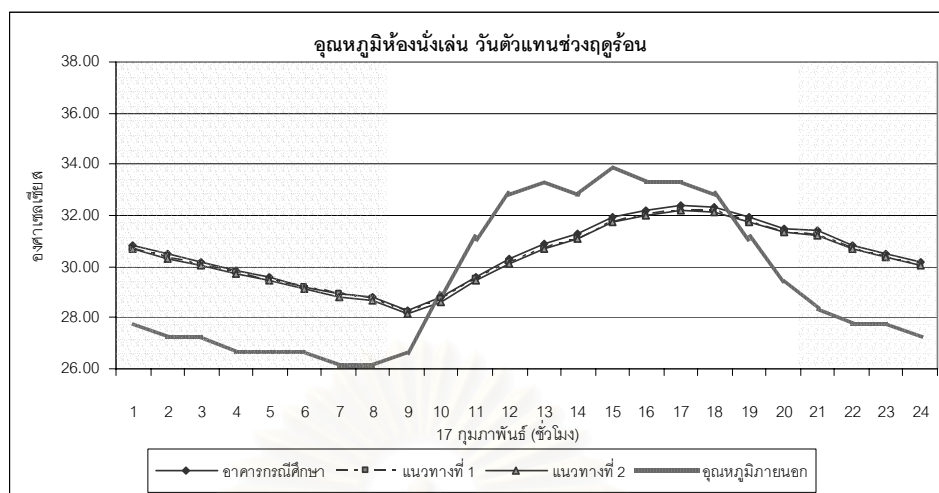
ตารางที่ 5.15 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

		อาคารกรณีศึกษา	แนวทางที่ 1	แนวทางที่ 2	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	31.52	31.42	31.41	31.27
	สูงสุด (°C)	34.22	34.06	34.06	37.78
	ต่ำสุด (°C)	29.17	29.17	29.11	27.78
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	31.62	31.39	31.42	31.27
	สูงสุด (°C)	35.83	35.33	35.56	37.78
	ต่ำสุด (°C)	28.44	28.44	28.33	27.78
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	31.20	31.10	31.04	31.27
	สูงสุด (°C)	34.44	34.22	34.22	37.78
	ต่ำสุด (°C)	28.56	28.67	28.50	27.78

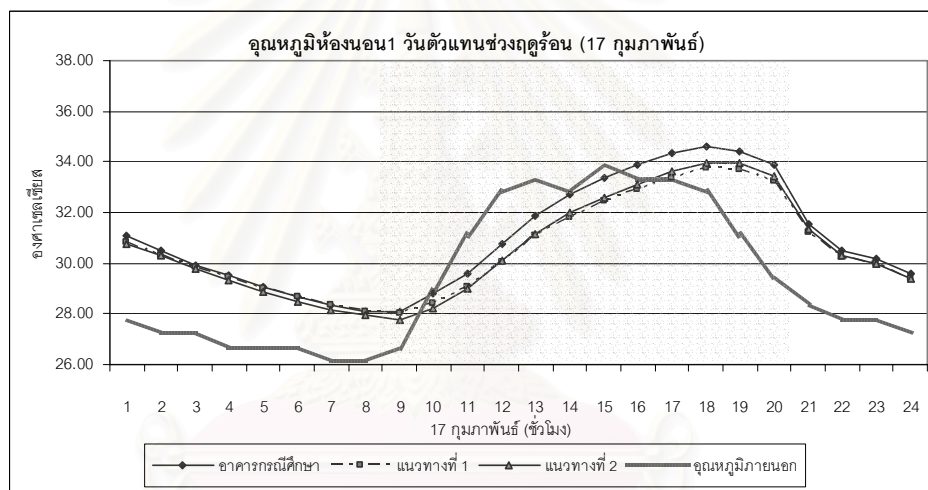
### สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุด

จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคารของห้องนั่งเล่น ห้องนอน 1 และห้องนอน 2 ในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542) ทำให้ทราบว่าแต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่างอาคารทั้ง 2 แนวทางนั้น ช่วยลดอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันมาก โดยแนวทางที่ 1 ใช้แผงกันแดดแนวนอนเพิ่มกับหน้าต่างบางส่วน จะดีกว่าแนวทางที่ 2 ซึ่งใช้กระจกสะท้อนความร้อนเล็กน้อย โดยห้องนั่งเล่นซึ่งเพิ่มเติมจากมีแนวกันแดดเดิมที่มีอยู่แล้ว ช่วยป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ จึงทำให้แทบไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายใน ส่วนห้องนอน 1 และ 2 จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเล็กน้อย โดยมีอุณหภูมิภายในตลอดทั้งกลางวันและช่วงสูงสุดของวันต่ำกว่าอาคารกรณีศึกษาประมาณ  $0.5^{\circ}\text{C}$  ทั้งสองแนวทางปรับปรุง จึงทำให้ยากต่อการพิจารณาความเหมาะสมทางด้านอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิว แต่หากพิจารณาทางด้านราคา ค่าก่อสร้าง จะเห็นได้ว่าแนวทางที่ 1 จะมีความเหมาะสมกว่า เนื่องจากอาคารกรณีศึกษามีแนวกันแดดอยู่แล้ว ไม่ว่าจะ เป็น แผงกันแดดแนวนอนเหนือหน้าต่าง หรือเงา ร่วมที่เกิดจากอาคารข้างเคียง หากแต่การเพิ่มเติมกันแดดในแนวทางนี้ เพิ่มเฉพาะส่วนหน้าต่างด้านทิศตะวันออกของห้องนั่งเล่น เพิ่มขึ้นอีก 0.30 ม. ซึ่งเดิมมีแนวกันแดดยื่นออกมา 0.70 ม. หน้าต่างด้านทิศใต้ของห้องนอน 1 ซึ่งเดิมมีแนวกันแดดยื่น 0.50 ม. ซึ่งไม่เพียงพอต่อการป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ และหน้าต่างด้านทิศเหนือของห้องนอน 2 ซึ่งแม้ว่าจะได้รับอิทธิพลรังสีดวงอาทิตย์น้อย แต่การที่ไม่มีแนวกันแดดให้กับหน้าต่างในส่วนนี้ จึงทำให้ความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ ในช่วงฤดูหนาวที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมทิศเหนือ ซึ่งแนวทางปรับปรุงที่ 1 ได้ติดตั้งแนวกันแดดยื่น 1 ม. ในส่วนนี้

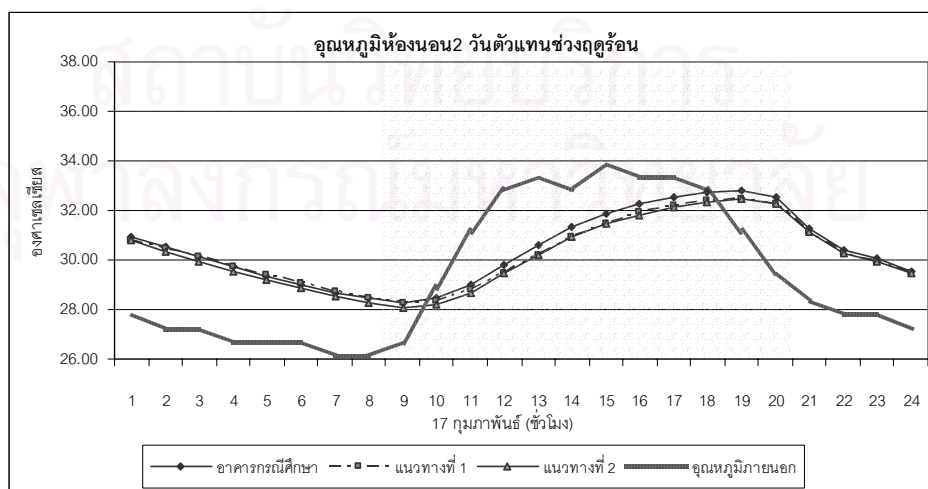
### 5.5.2 การเปรียบเทียบวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



แผนภูมิที่ 5.34 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



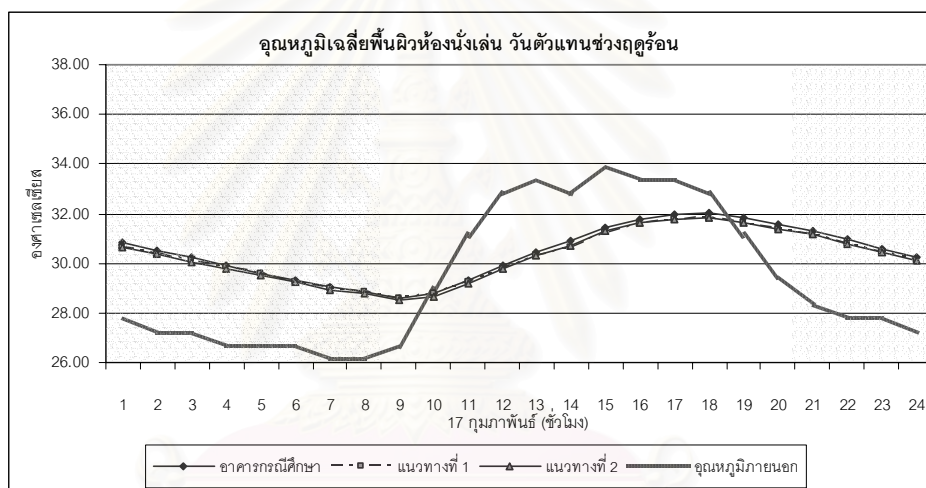
แผนภูมิที่ 5.35 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



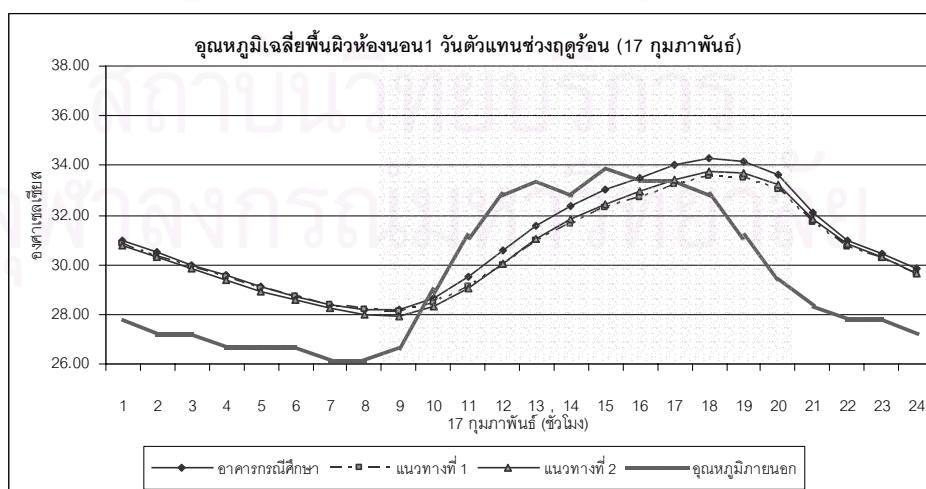
แผนภูมิที่ 5.36 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)

ตารางที่ 5.16 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)

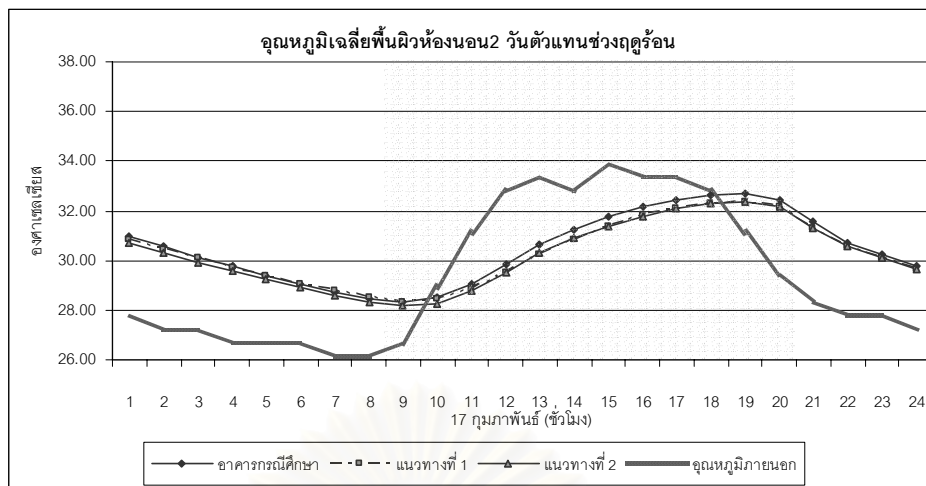
		อาคารกรณีศึกษา	แนวทางที่ 1	แนวทางที่ 2	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	30.51	30.38	30.34	29.38
	สูงสุด (°C)	32.39	32.17	32.17	33.89
	ต่ำสุด (°C)	28.28	28.22	28.17	26.11
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	30.97	30.55	30.57	29.38
	สูงสุด (°C)	34.61	33.78	33.94	33.89
	ต่ำสุด (°C)	28.11	28.00	27.78	26.11
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	30.43	30.27	30.18	29.38
	สูงสุด (°C)	32.78	32.44	32.44	33.89
	ต่ำสุด (°C)	28.28	28.28	28.06	26.11



แผนภูมิที่ 5.37 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



แผนภูมิที่ 5.38 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน 1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



แผนภูมิที่ 5.39 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)

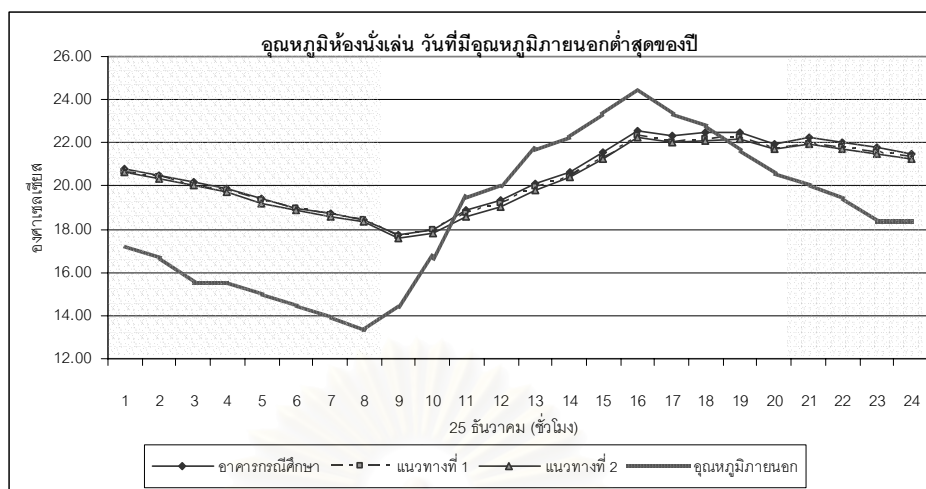
ตารางที่ 5.17 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)

		อาคารกรณีศึกษา	แนวทางที่ 1	แนวทางที่ 2	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	30.42	30.29	30.27	29.38
	สูงสุด (°C)	32.06	31.83	31.83	33.89
	ต่ำสุด (°C)	28.61	28.56	28.50	26.11
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	30.92	30.58	30.60	29.38
	สูงสุด (°C)	34.28	33.56	33.78	33.89
	ต่ำสุด (°C)	28.17	28.11	27.94	26.11
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	30.46	30.28	30.22	29.38
	สูงสุด (°C)	32.67	32.33	32.33	33.89
	ต่ำสุด (°C)	28.33	28.33	28.17	26.11

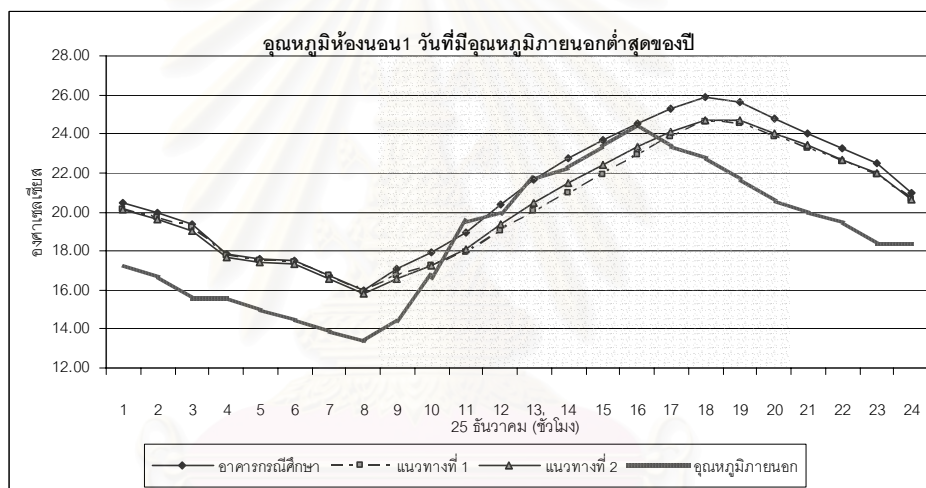
### สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน

จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคารของห้องนั่งเล่น ห้องนอน1 และห้องนอน2 ในวันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542) จะเห็นความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแนวทางการปรับปรุงกับอาคารกรณีศึกษา ชัดเจนมากขึ้นกว่าแผนภูมิของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี ซึ่งจะมีอุณหภูมิภายในทั้งสองแนวทาง ลดต่ำกว่าอาคารกรณีศึกษาประมาณ 0.5-1 °C แต่ความแตกต่างของทั้ง 2 แนวทางการปรับปรุงจะต่างกันเล็กน้อย โดยมีลักษณะพฤติกรรมไปในทิศทางเดียวกันกับอาคารกรณีศึกษา โดยแนวทางที่ 1 จะต่ำสุด ซึ่งเป็นไปในรูปแบบเดียวกันกับวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี

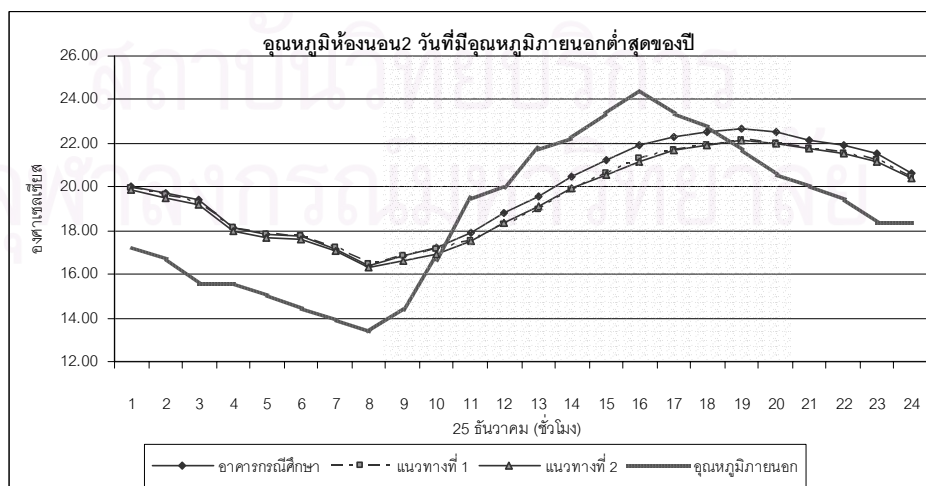
### 5.5.3 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.40 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในในห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)



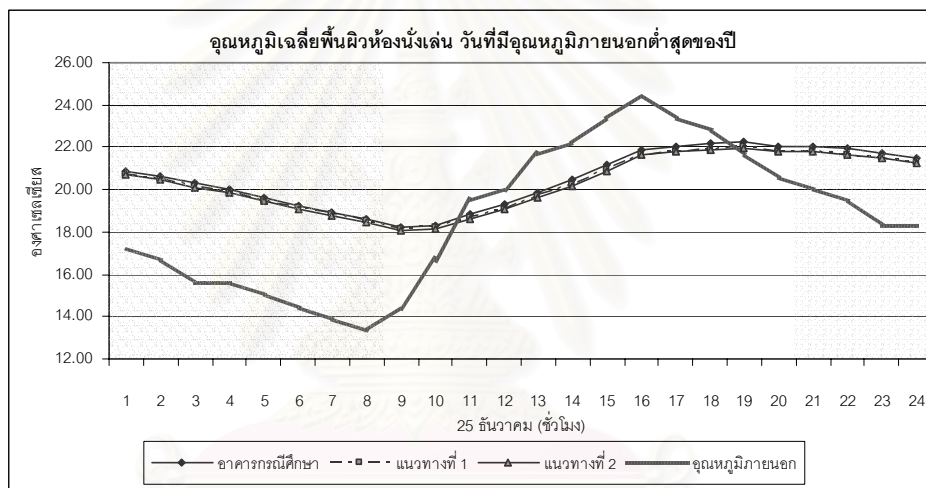
แผนภูมิที่ 5.41 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในในห้องนอน1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)



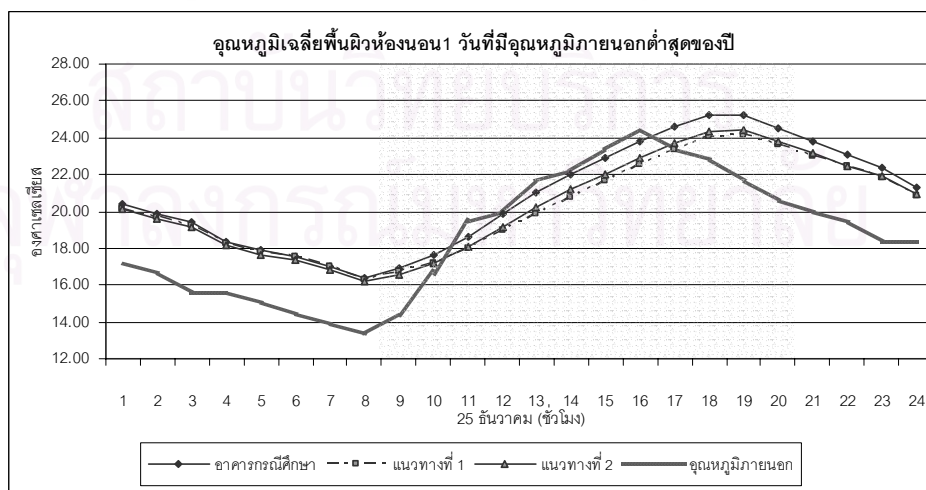
แผนภูมิที่ 5.42 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในในห้องนอน2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)

ตารางที่ 5.18 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)

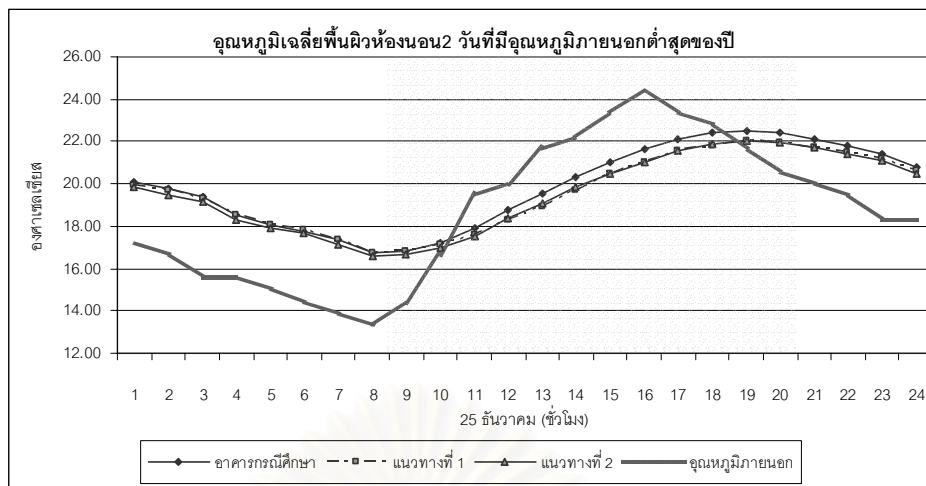
		อาคารกรณีศึกษา	แนวทางที่ 1	แนวทางที่ 2	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	20.52	20.35	20.29	18.68
	สูงสุด(°C)	22.56	22.33	22.28	24.44
	ต่ำสุด(°C)	17.72	17.67	17.61	13.33
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	21.03	20.28	20.37	18.68
	สูงสุด(°C)	25.89	24.61	24.72	24.44
	ต่ำสุด(°C)	15.94	15.89	15.78	13.33
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	19.85	19.56	19.49	18.68
	สูงสุด(°C)	22.67	22.11	22.11	24.44
	ต่ำสุด(°C)	16.39	16.44	16.28	13.33



แผนภูมิที่ 5.43 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม2542)



แผนภูมิที่ 5.44 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม2542)



แผนภูมิที่ 5.45 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)

ตารางที่ 5.19 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)

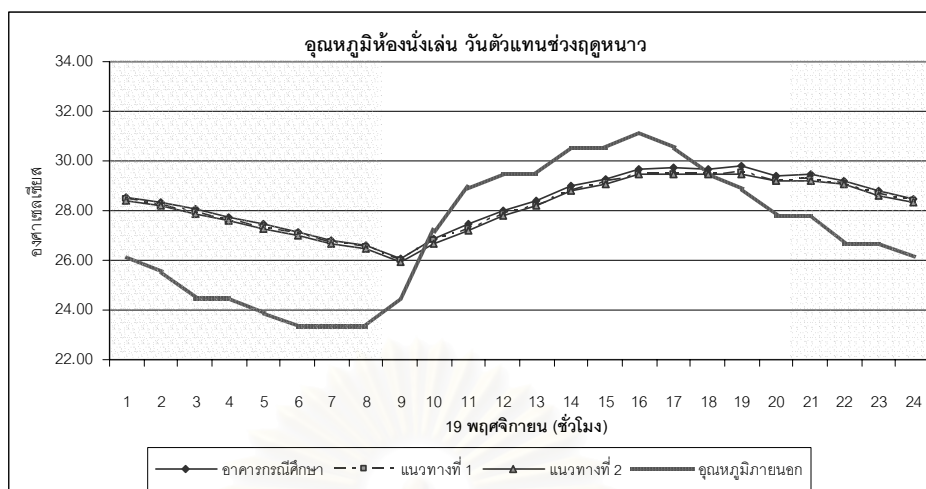
		อาคารกรณีศึกษา	แนวทางที่ 1	แนวทางที่ 2	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	20.50	20.32	20.28	18.68
	สูงสุด (°C)	22.28	22.00	21.94	24.44
	ต่ำสุด (°C)	18.22	18.17	18.06	13.33
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	20.82	20.21	20.30	18.68
	สูงสุด (°C)	25.22	24.17	24.39	24.44
	ต่ำสุด (°C)	16.39	16.33	16.17	13.33
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	19.86	19.58	19.51	18.68
	สูงสุด (°C)	22.50	22.00	22.00	24.44
	ต่ำสุด (°C)	16.72	16.78	16.56	13.33

### สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี

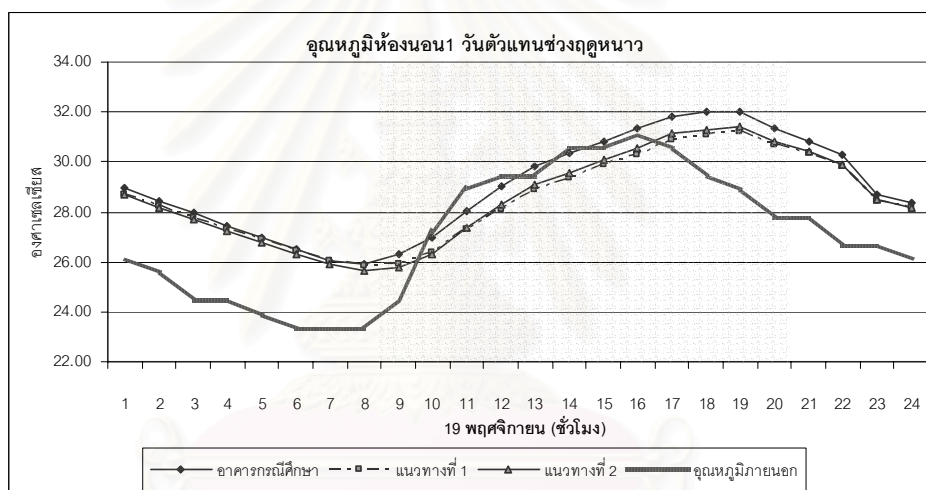
จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคารของห้องนั่งเล่น ห้องนอน1 และห้องนอน2 ในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม) ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของแต่ละแนวทางการปรับปรุงทางหน้าต่างอาคาร ซึ่งจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิภายในทุกแนวทางปรับปรุงจะอยู่ต่ำกว่าระดับสภาวะน่าสบายตลอดทั้งวัน ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของแต่ละแนวทางเป็นไปในรูปแบบเดียวกันกับ 2 วันตัวแทนที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากห้องนอน1 ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวได้ถึง 1 °C ทั้ง 2 แนวทาง และช่วงอุณหภูมิสูงสุดของวันของห้องนี้สามารถลดลงได้อยู่ในระดับเดียวกันกับอุณหภูมิภายนอก



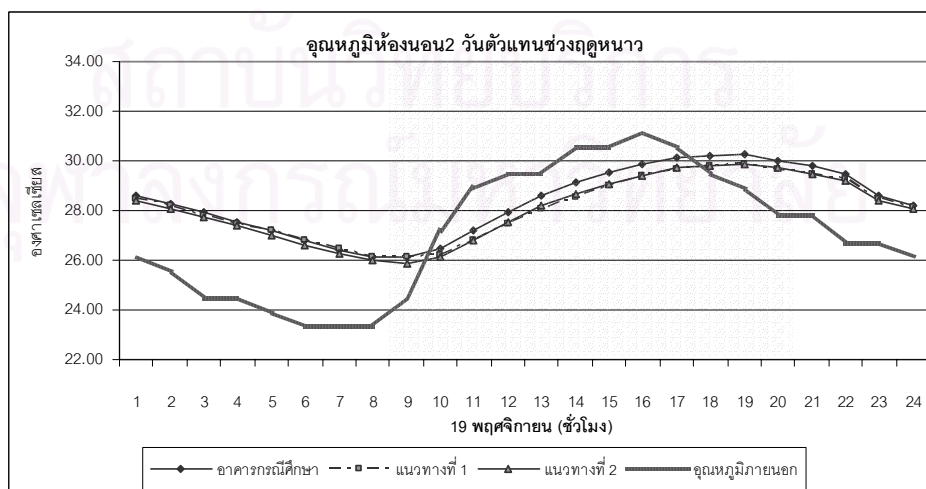
#### 5.5.4 การเปรียบเทียบวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



แผนภูมิที่ 5.46 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



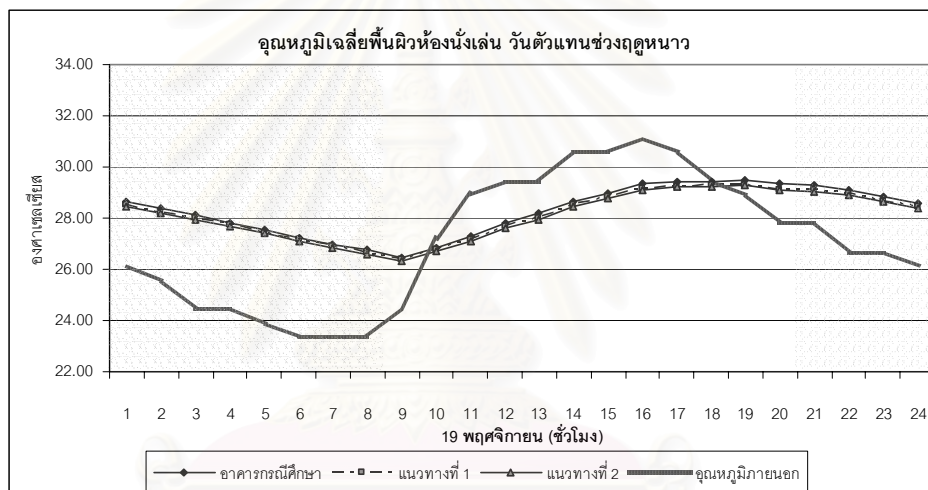
แผนภูมิที่ 5.47 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



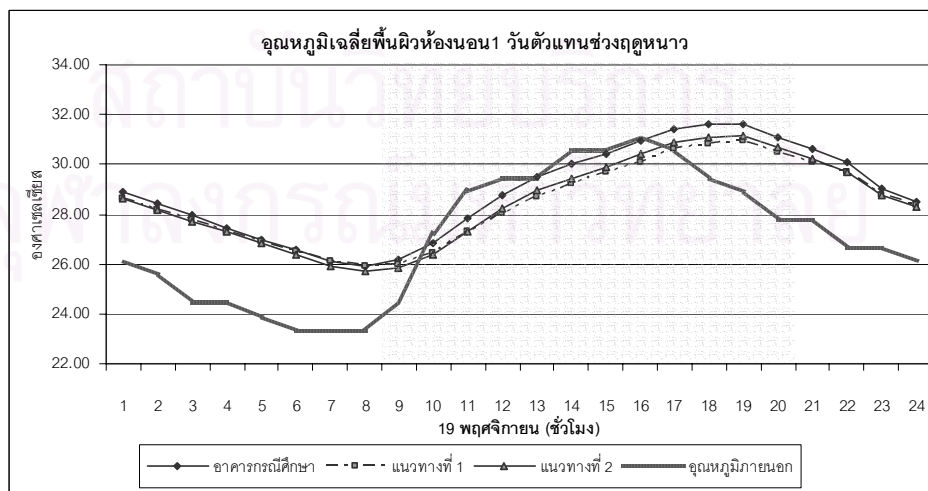
แผนภูมิที่ 5.48 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)

ตารางที่ 5.20 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)

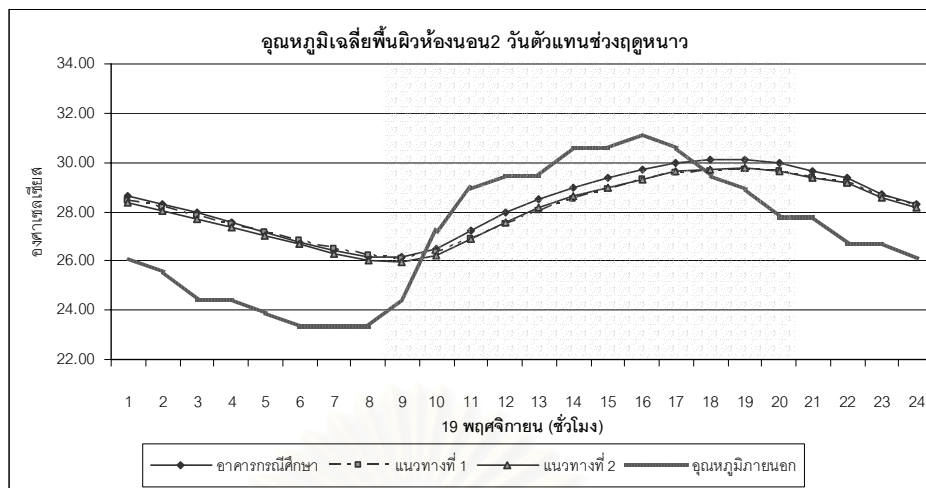
		อาคารกรณีศึกษา	แนวทางที่ 1	แนวทางที่ 2	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	28.33	28.19	28.14	27.08
	สูงสุด(°C)	29.78	29.56	29.50	31.11
	ต่ำสุด(°C)	26.06	26.00	25.94	23.33
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	29.01	28.50	28.55	27.08
	สูงสุด(°C)	32.00	31.22	31.44	31.11
	ต่ำสุด(°C)	25.94	25.83	25.67	23.33
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	28.35	28.11	28.06	27.08
	สูงสุด(°C)	30.28	29.89	29.89	31.11
	ต่ำสุด(°C)	26.11	26.11	25.89	23.33



แผนภูมิที่ 5.49 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนั่งเล่น แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



แผนภูมิที่ 5.50 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน 1 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



แผนภูมิที่ 5.51 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน2 แต่ละแนวทางการปรับปรุงหน้าต่างต่าง  
วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)

ตารางที่ 5.21 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)

		อาคารกรณีศึกษา	แนวทางที่ 1	แนวทางที่ 2	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	28.27	28.13	28.09	27.08
	สูงสุด (°C)	29.50	29.28	29.28	31.11
	ต่ำสุด (°C)	26.44	26.39	26.33	23.33
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	28.86	28.44	28.50	27.08
	สูงสุด (°C)	31.61	30.94	31.17	31.11
	ต่ำสุด (°C)	25.94	25.89	25.72	23.33
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	28.32	28.09	28.05	27.08
	สูงสุด (°C)	30.11	29.72	29.78	31.11
	ต่ำสุด (°C)	26.17	26.11	25.94	23.33

### สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงหน้าต่าง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว

จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวในวันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542) ของห้องนั่งเล่น ห้องนอน1และ2 ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในแต่ละห้องในช่วงฤดูหนาว ของแต่ละแนวทางเลือกปรับปรุงหน้าต่าง ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในระดับสภาวะน่าสบายตลอดทั้งวัน ลักษณะพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแต่ละแนวทางมีทิศทางในรูปแบบเดียวกันกับวันตัวแทนทั้ง 3 ที่ได้กล่าวมาแล้ว เว้นเพียงแต่ช่วงกลางวันห้องนอน 1 ซึ่งเดิมอาคารกรณีศึกษาจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิและสูงกว่าระดับสภาวะน่าสบายเล็กน้อย เนื่องจากห้องนี้อยู่ทางทิศใต้ของอาคาร ซึ่งได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ และห้องชั้นบนได้กำหนดให้ไม่มีการระบายอากาศในช่วงกลางวัน แต่สำหรับแนวทางการปรับปรุงทั้งสองสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องดังกล่าวได้ 1 °C ซึ่งจะอยู่ในระดับอุณหภูมิภายนอกและระดับสภาวะน่าสบาย

### 5.5.5 สรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงหน้าต่างอาคาร

จากการศึกษาลักษณะพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ทางหน้าต่าง ในแต่ละแนวทางการปรับปรุง ทำให้ทราบผลที่มีต่ออุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวของอาคาร ในแต่ละแนวทางการปรับปรุง สามารถสรุปได้โดยแนวทางที่มีความเหมาะสมที่สุด คือแนวทางที่ 1 ซึ่งเป็นการเพิ่มแนวกันสาดเหนือช่องหน้าต่างในส่วนโดยรอบอาคาร กล่าวคือ หน้าต่างด้านตะวันออกของห้องนั่งเล่น ซึ่งเพิ่มเติมจากเดิมที่มีระยะยื่น 0.70 ม. เป็น 1.00 ม. หน้าต่างด้านทิศใต้ของห้องนอน 1 ซึ่งเดิมมีกันสาดยื่นอยู่แล้ว 0.50 ม. เพิ่มขึ้นอีก 0.50 ม. เป็น 1.00 ม. และหน้าต่างด้านทิศเหนือของห้องนอน 2 ซึ่งเดิมไม่มีกันสาดช่วยป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ ได้เพิ่มกันสาดยื่น 1.00 ม. กับหน้าต่างในส่วนนี้ เมื่อนำมาวิเคราะห์ประเมินผลเปรียบเทียบกันทั้งสองแนวทางแล้วนั้น แนวทางที่ 1 จะมีอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวที่ได้จากวันตัวแทนทั้ง 4 วัน ต่ำกว่าแนวทางที่ 2 เล็กน้อย และต่ำกว่าอาคารกรณีศึกษาเดิมประมาณ 0.5-1 °C ในชั้นบน ส่วนชั้นล่างเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำกว่าอาคารกรณีศึกษาไม่มากนัก เนื่องจากชั้นล่างมีแนวกันสาดเหนือช่องหน้าต่างเดิมช่วยป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ที่ดีอยู่แล้ว สัดส่วนที่ลดลงของอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่นนั้น เกิดจากการเพิ่มเติมแนวกันสาดจากเดิมไปอีก 0.30 ม. แต่เนื่องด้วยแนวทางที่ 1 มีราคาค่าก่อสร้างที่ต่ำกว่าแนวทางที่ 2 ซึ่งเป็นการใช้กระจกสะท้อนความร้อนทั้งอาคาร

### 5.6 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

จากการศึกษาวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงแต่ละแนวทาง ที่พิจารณาองค์ประกอบอาคารในส่วนผนังภายนอกและหน้าต่างของอาคาร ทำให้ได้แนวทางที่มีความเหมาะสมกับอาคารกรณีศึกษาตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ไม่ว่าจะเป็นด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านเทคนิค และด้านเกณฑ์ในการอนุรักษ์พลังงานที่กฎหมายกำหนดไว้ เป็นต้น จึงนำแนวทางการปรับปรุงที่ดีที่สุดในแต่ละองค์ประกอบอาคารที่เลือกไว้มาพิจารณาร่วมกัน เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาเดิม ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแผนภูมิในลำดับต่อไป

#### แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

การปรับปรุงทางด้านผนังภายนอก

- ผนังภายนอกชั้นล่างผนังก่ออิฐมวลเบาคึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ
- ผนังภายนอกชั้นบนผนังเบา ภายนอกซีเมนต์บอร์ด โครงเคร่า 0.10 ม. ภายในยิปซัมบอร์ด

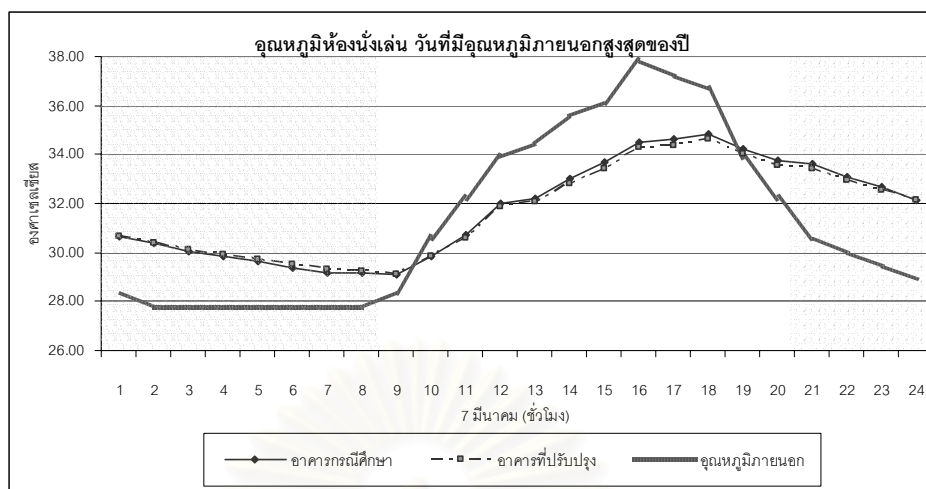
การปรับปรุงทางด้านหน้าต่างอาคาร

- หน้าต่างชั้นล่างด้านทิศตะวันออกของห้องนั่งเล่น กันสาดยื่นเพิ่มขึ้นจากเดิมซึ่งมีระยะ 0.70 ม. เป็น 1.00 ม.
- หน้าต่างชั้นบนด้านทิศใต้ของห้องนอน 1 กันสาดยื่นเพิ่มขึ้นจากเดิมซึ่งมีระยะ 0.50 ม. เป็น 1.00 ม.
- หน้าต่างชั้นบนด้านทิศเหนือของห้องนอน 2 ซึ่งเดิมไม่มีการป้องกันแสงแดด จึงทำการติดตั้งกันสาดยื่น 1.00 ม. เหนือวงกบหน้าต่าง

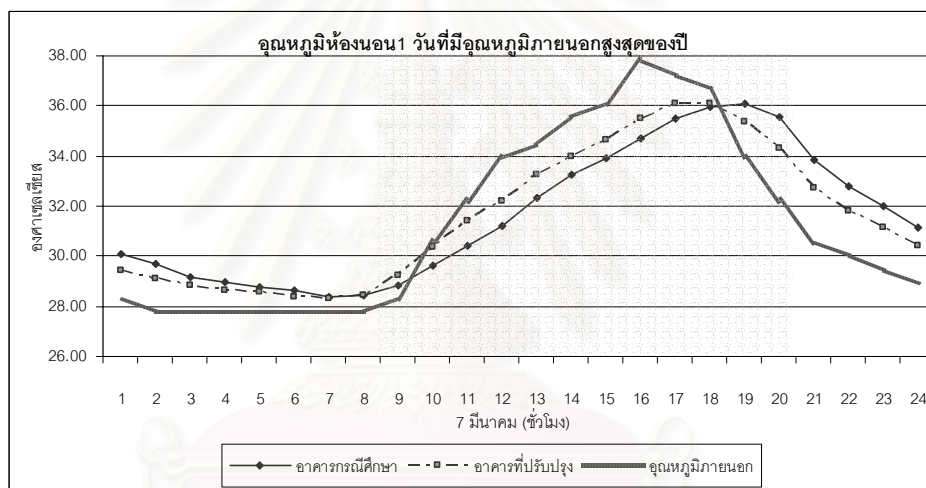
คุณสมบัติอื่นๆของแนวทางการปรับปรุง

- ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางผนังอาคาร (OTTV) 37.79 วัตต์ต่อตารางเมตร
- ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางหลังคาอาคาร (RTTV) 9.99 วัตต์ต่อตารางเมตร
- มูลค่าก่อสร้างอาคาร 227,208 บาท เพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาร้อยละ 7.4

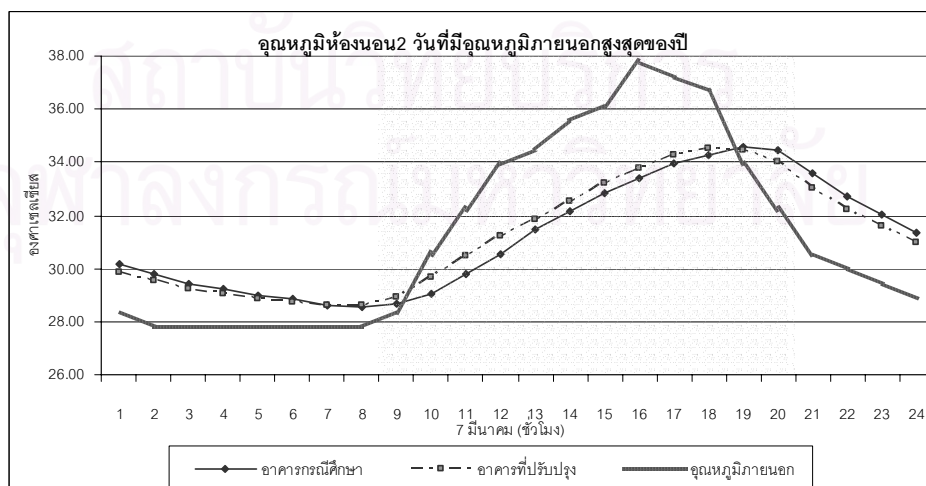
### 5.6.1 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.52 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)



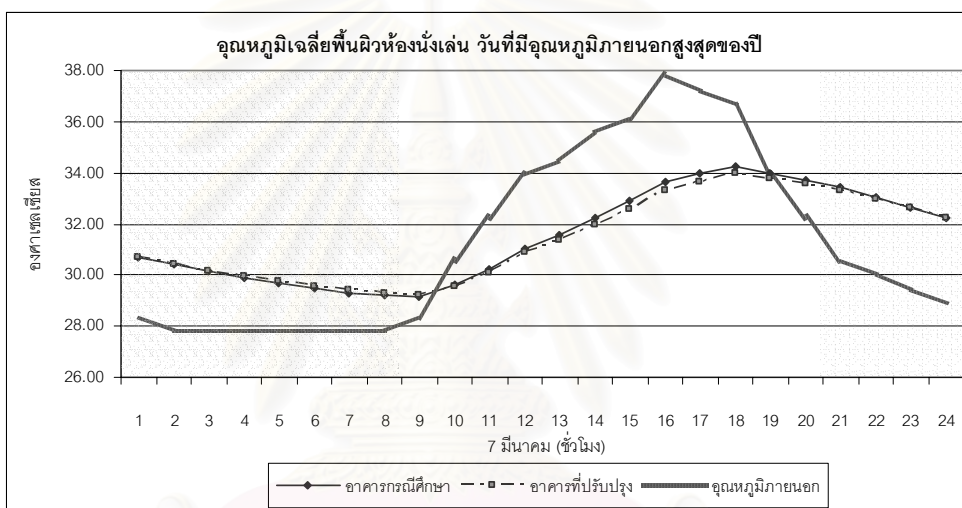
แผนภูมิที่ 5.53 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน1 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)



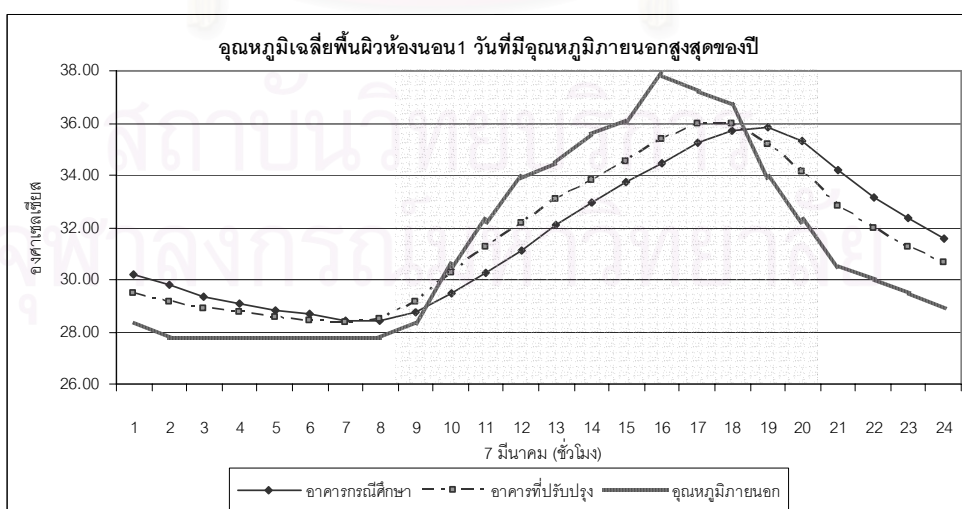
แผนภูมิที่ 5.54 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน2 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

ตารางที่ 5.22 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

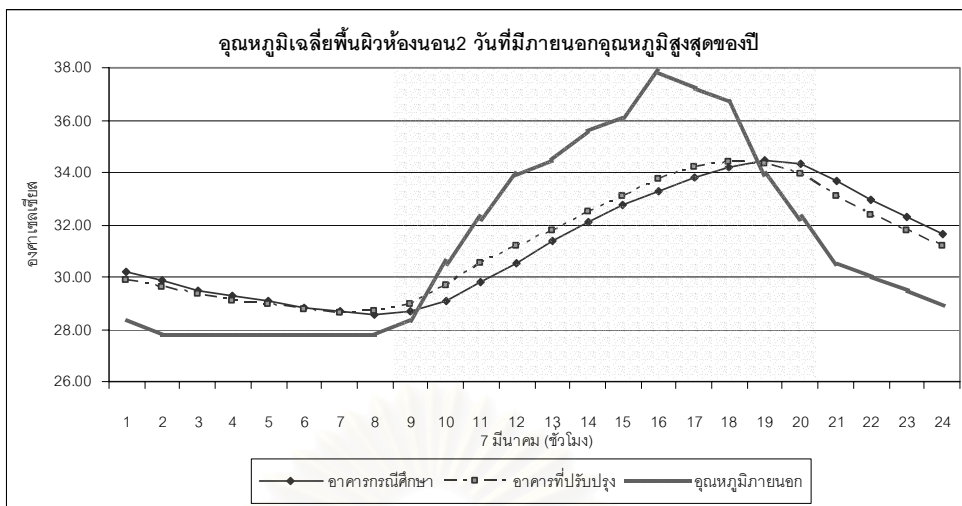
		อาคารกรณีศึกษา	อาคารที่ปรับปรุง	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	31.76	31.68	31.27
	สูงสุด(°C)	34.83	34.61	37.78
	ต่ำสุด(°C)	29.11	29.11	27.78
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	31.64	31.59	31.27
	สูงสุด(°C)	36.11	36.11	37.78
	ต่ำสุด(°C)	28.39	28.28	27.78
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	31.18	31.22	31.27
	สูงสุด(°C)	34.56	34.50	37.78
	ต่ำสุด(°C)	28.56	28.61	27.78



แผนภูมิที่ 5.55 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนั่งเล่น อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.56 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน1 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.57 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน2 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

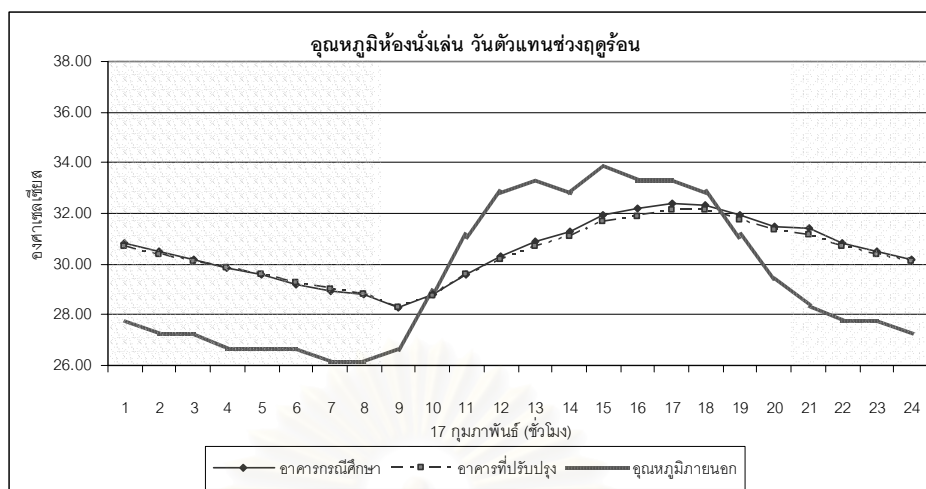
ตารางที่ 5.23 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542)

		อาคารกรณีศึกษา	อาคารที่ปรับปรุง	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย ( $^{\circ}\text{C}$ )	31.52	31.43	31.27
	สูงสุด( $^{\circ}\text{C}$ )	34.22	33.94	37.78
	ต่ำสุด( $^{\circ}\text{C}$ )	29.17	29.22	27.78
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย ( $^{\circ}\text{C}$ )	31.62	31.57	31.27
	สูงสุด( $^{\circ}\text{C}$ )	35.83	36.00	37.78
	ต่ำสุด( $^{\circ}\text{C}$ )	28.44	28.33	27.78
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย ( $^{\circ}\text{C}$ )	31.20	31.24	31.27
	สูงสุด( $^{\circ}\text{C}$ )	34.44	34.39	37.78
	ต่ำสุด( $^{\circ}\text{C}$ )	28.56	28.61	27.78

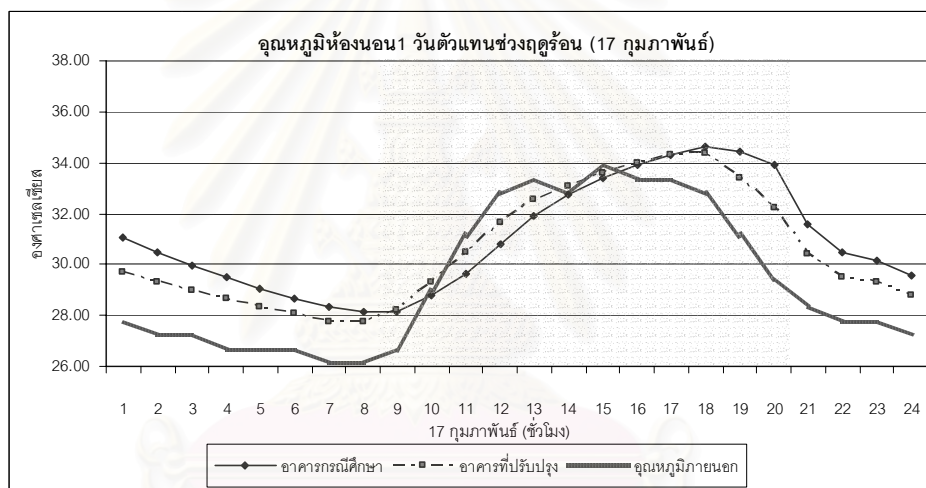
### สรุปผลการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุด

จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคารของห้องนั่งเล่น ห้องนอน1 และห้องนอน2 ในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (7 มีนาคม 2542) ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของอาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุงเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาเดิม ซึ่งทำให้ทราบว่าห้องนั่งเล่นชั้นล่าง แม้ว่าจะเลือกใช้แนวทางที่ดีที่สุดของแต่ละองค์ประกอบอาคารมาใช้ อันประกอบด้วยผนังก่ออิฐมวลคู่ครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบและเพิ่มแนวกันสาดจากเดิมอีก 0.30 ม. ก็ทำให้อุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งยังคงสูงกว่าระดับสภาวะน่าสบาย ส่วนห้องนอน1 และ2 ชั้นบน ซึ่งใช้ผนังวัสดุมวลสารน้อย โดยภายนอกเป็นแผ่นซีเมนต์บอร์ดหนา 12 มม. ช่องว่างอากาศ 0.10 ม. และภายในกรุแผ่นยิปซั่มหนา 12 มม. ซึ่งทำให้อุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวเริ่มลดต่ำลงตั้งแต่วันที่ 18.00 น. ซึ่งจะคายความร้อนได้เร็วกว่าอาคารกรณีศึกษาเดิม 1 ชั่วโมง ที่ซึ่งจะคายในช่วง 19.00 น. โดยมีอุณหภูมิช่วงกลางวันต่ำกว่าอาคารกรณีศึกษาเดิมประมาณ  $0.5-1^{\circ}\text{C}$  โดยเฉลี่ย

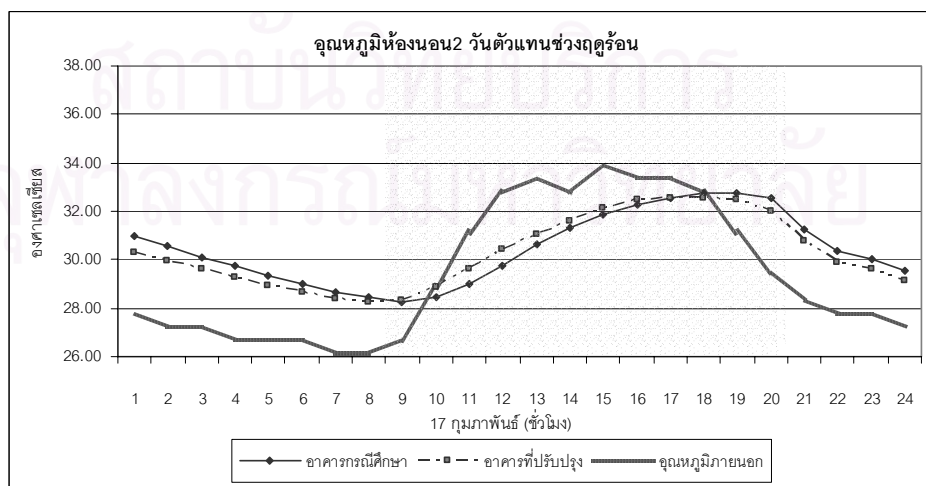
### 5.6.2 การเปรียบเทียบวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



แผนภูมิที่ 5.58 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



แผนภูมิที่ 5.59 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน1 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)

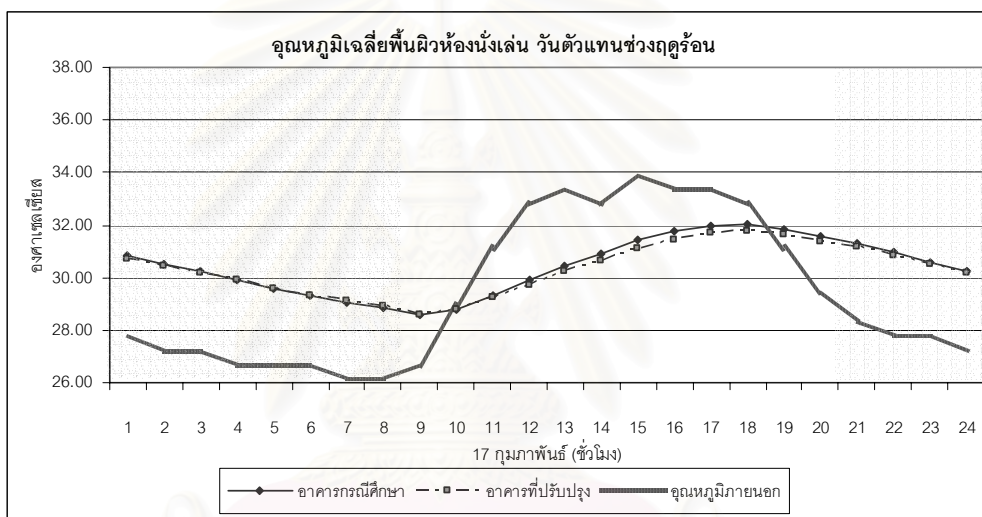


แผนภูมิที่ 5.60 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน2 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)

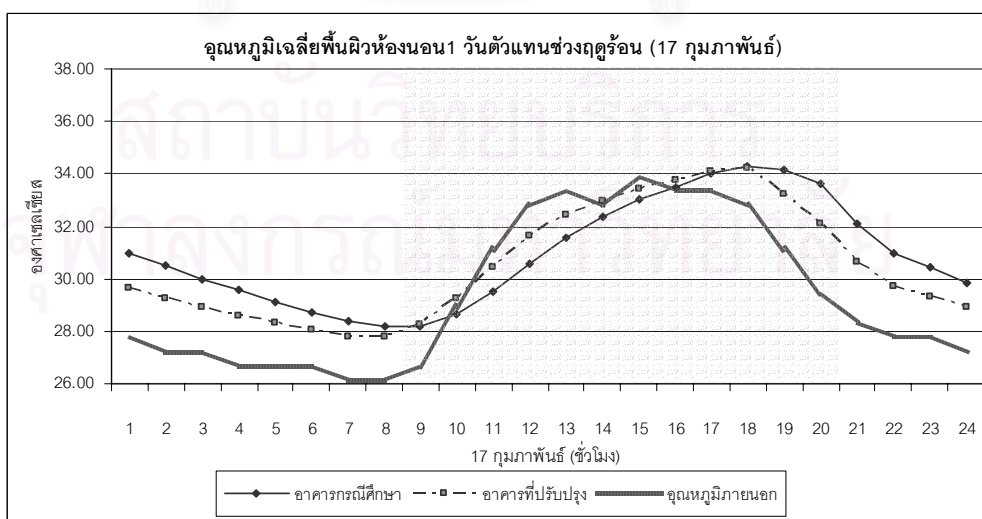


ตารางที่ 5.24 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)

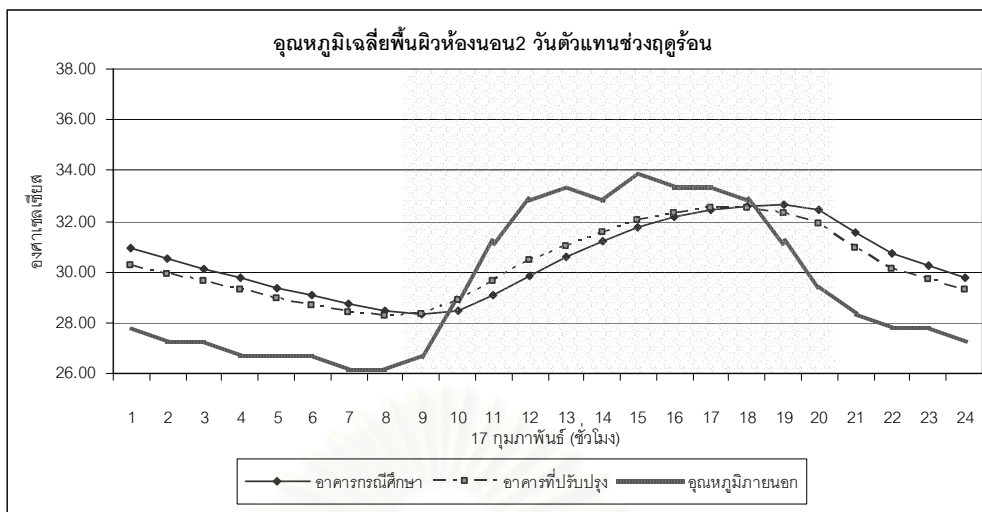
		อาคารกรณีศึกษา	อาคารที่ปรับปรุง	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	30.51	30.39	29.38
	สูงสุด (°C)	32.39	32.11	33.89
	ต่ำสุด (°C)	28.28	28.28	26.11
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	30.97	30.58	29.38
	สูงสุด (°C)	34.61	34.39	33.89
	ต่ำสุด (°C)	28.11	27.78	26.11
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	30.43	30.28	29.38
	สูงสุด (°C)	32.78	32.56	33.89
	ต่ำสุด (°C)	28.28	28.28	26.11



แผนภูมิที่ 5.61 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนั่งเล่น อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



แผนภูมิที่ 5.62 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน 1 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)



แผนภูมิที่ 5.63 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน2 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)

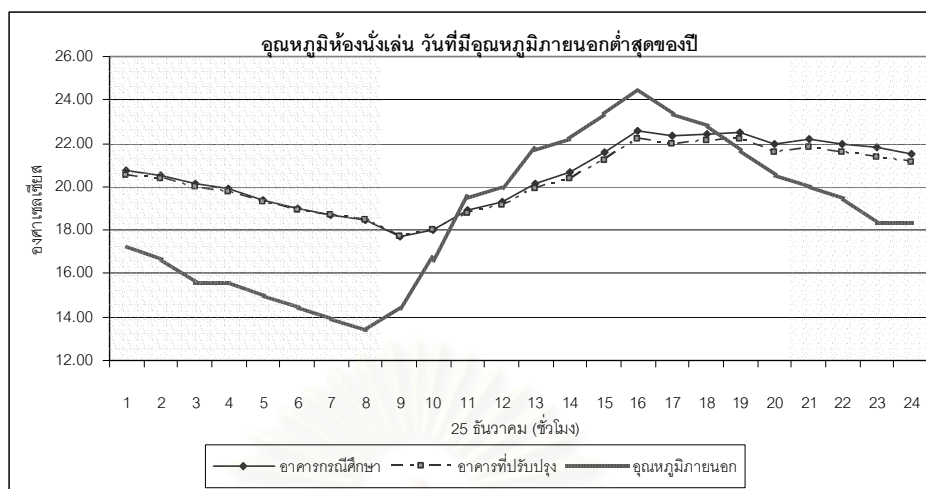
ตารางที่ 5.25 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542)

		อาคารกรณีศึกษา	อาคารที่ปรับปรุง	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย ( ° C )	30.42	30.30	29.38
	สูงสุด ( ° C )	32.06	31.78	33.89
	ต่ำสุด ( ° C )	28.61	28.61	26.11
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย ( ° C )	30.92	30.53	29.38
	สูงสุด ( ° C )	34.28	34.22	33.89
	ต่ำสุด ( ° C )	28.17	27.78	26.11
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย ( ° C )	30.46	30.28	29.38
	สูงสุด ( ° C )	32.67	32.50	33.89
	ต่ำสุด ( ° C )	28.33	28.28	26.11

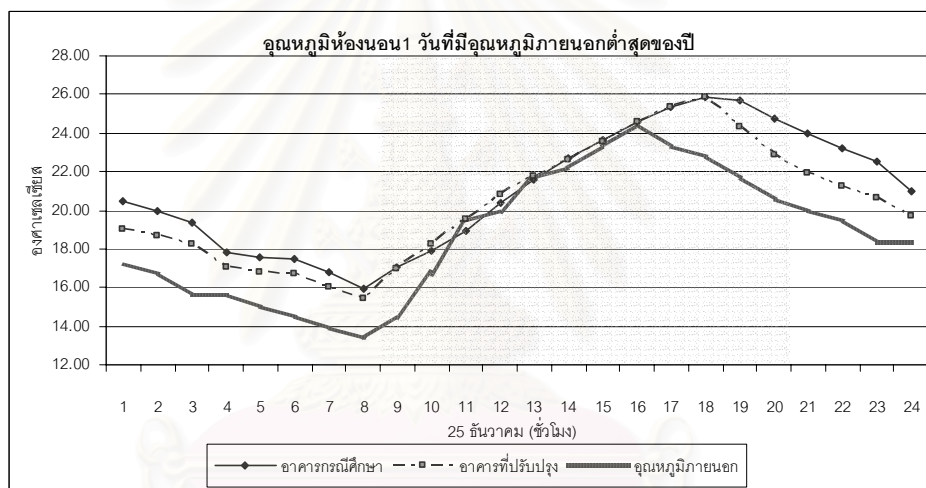
**สรุปผลการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูร้อน**

จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคารของห้องนั่งเล่น ห้องนอน1 และห้องนอน2 ในวันตัวแทนฤดูร้อน (17 กุมภาพันธ์ 2542) ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของอาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุงเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาเดิม ซึ่งมีลักษณะพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรูปแบบเดียวกันกับวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี กล่าวคือ ห้องนั่งเล่นชั้นล่าง แม้ว่าจะเลือกใช้เส้นทางที่ดีที่สุดของแต่ละองค์ประกอบอาคารมาใช้ ก็ทำให้อุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งยังคงสูงกว่าระดับสภาวะน่าสบายอยู่เล็กน้อย ส่วนห้องนอน1 และ2 ชั้นบน ซึ่งใช้ผนังวัสดุมวลสารน้อย ทำให้อุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวเริ่มลดต่ำลงตั้งแต่เวลา 18.00 น. ซึ่งจะคายความร้อนได้เร็วกว่าอาคารกรณีศึกษาเดิม 2 ชั่วโมง ที่ซึ่งจะคายในช่วง 20.00 น. โดยมีอุณหภูมิช่วงกลางคืนของชั้นบนจะต่ำกว่าอาคารกรณีศึกษาเดิมประมาณ 0.5-1 ° C โดยเฉลี่ย

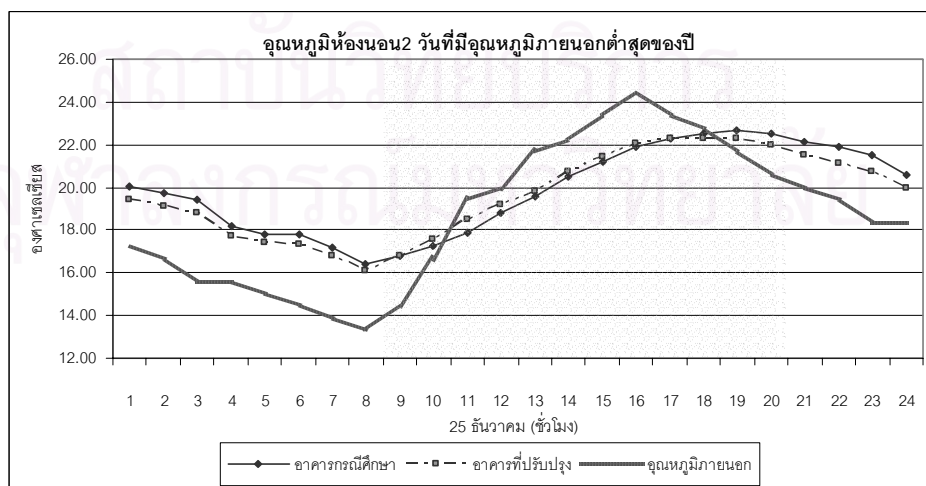
### 5.6.3 การเปรียบเทียบวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.64 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)



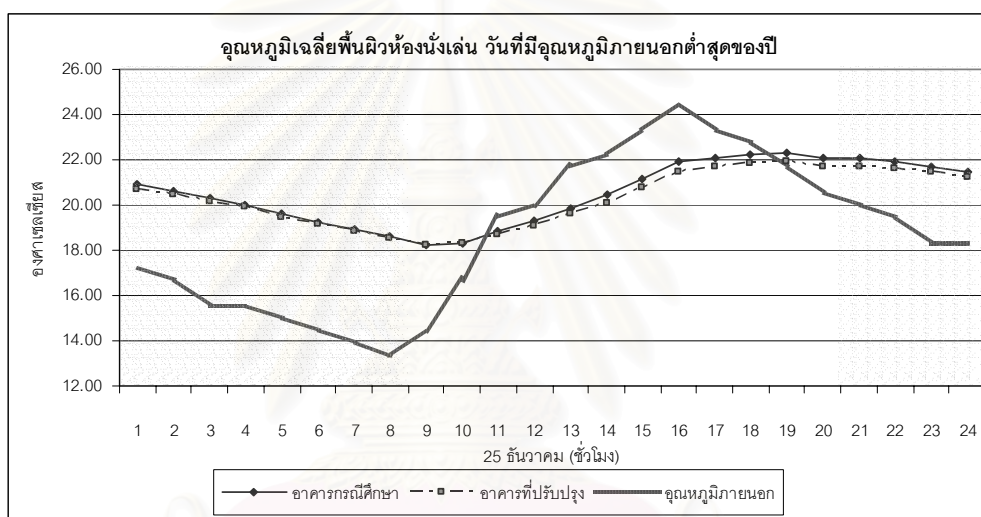
แผนภูมิที่ 5.65 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน1 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)



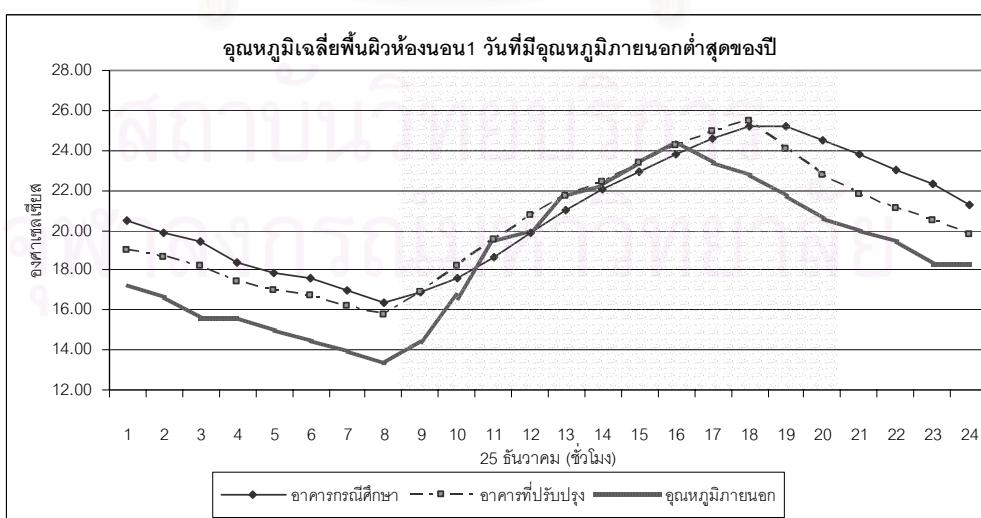
แผนภูมิที่ 5.66 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน2 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)

ตารางที่ 5.26 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)

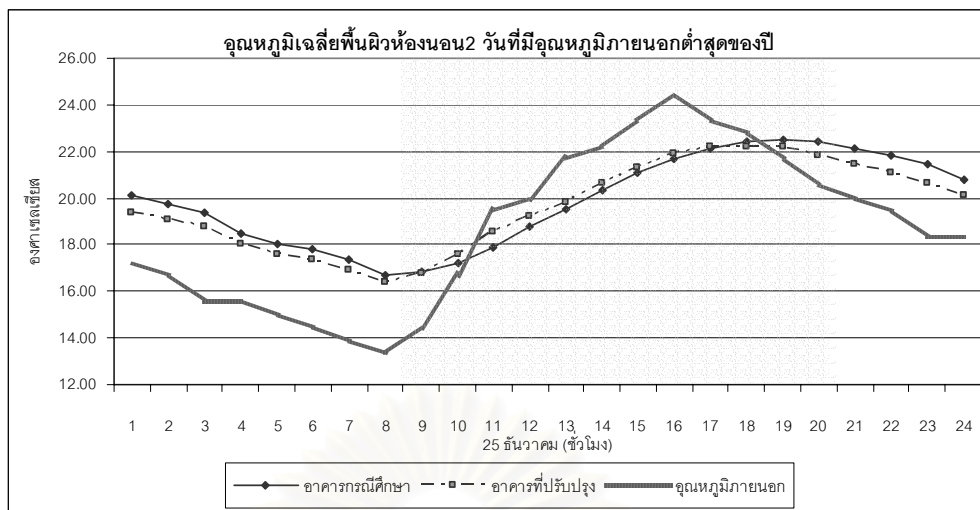
		อาคารกรณีศึกษา	อาคารที่ปรับปรุง	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	20.52	20.31	18.68
	สูงสุด (°C)	22.56	22.22	24.44
	ต่ำสุด (°C)	17.72	17.72	13.33
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	21.03	20.33	18.68
	สูงสุด (°C)	25.89	25.89	24.44
	ต่ำสุด (°C)	15.94	15.44	13.33
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	19.85	19.63	18.68
	สูงสุด (°C)	22.67	22.28	24.44
	ต่ำสุด (°C)	16.39	16.11	13.33



แผนภูมิที่ 5.67 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนั่งเล่น อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.68 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน 1 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)



แผนภูมิที่ 5.69 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน2 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม2542)

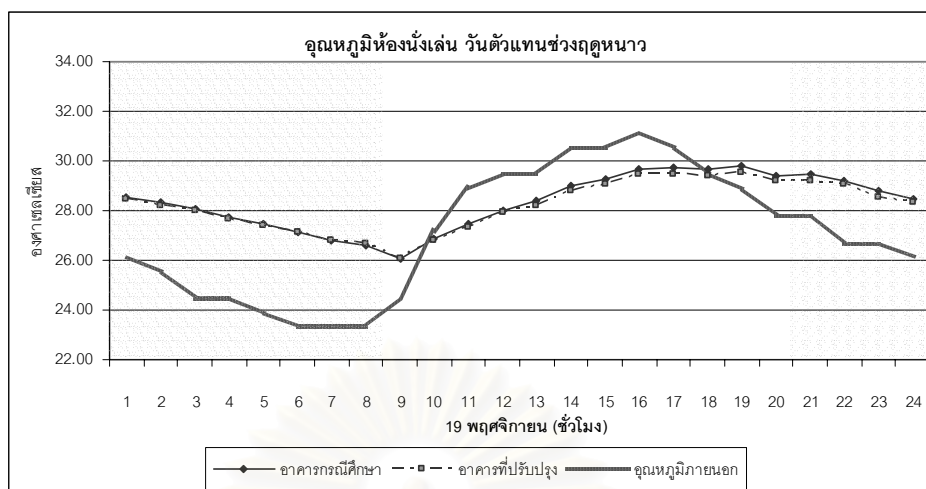
ตารางที่ 5.27 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม 2542)

		อาคารกรณีศึกษา	อาคารที่ปรับปรุง	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	20.50	20.28	18.68
	สูงสุด(°C)	22.28	21.94	24.44
	ต่ำสุด(°C)	18.22	18.22	13.33
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	20.82	20.26	18.68
	สูงสุด(°C)	25.22	25.44	24.44
	ต่ำสุด(°C)	16.39	15.78	13.33
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	19.86	19.63	18.68
	สูงสุด(°C)	22.50	22.22	24.44
	ต่ำสุด(°C)	16.72	16.39	13.33

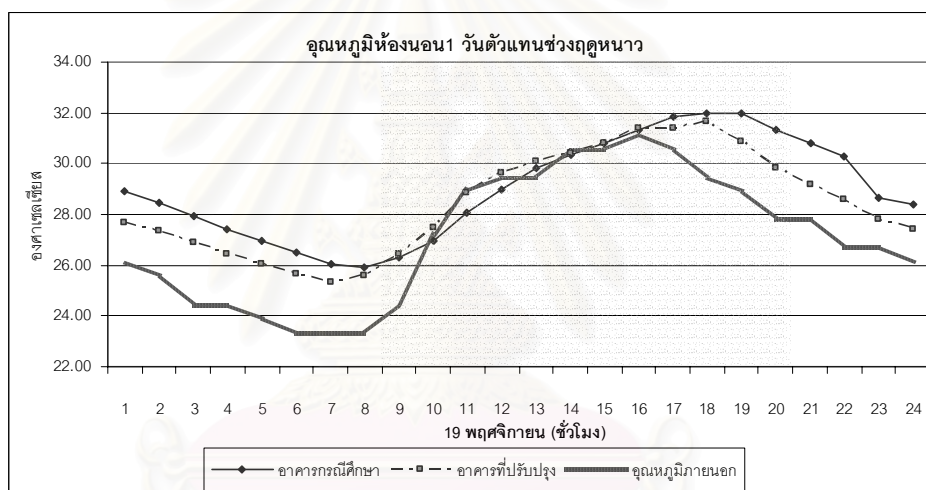
### สรุปผลการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี

จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคารของห้องนั่งเล่น ห้องนอน1 และห้องนอน2 ในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม2542) ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของอาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุงเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาเดิม ซึ่งมีลักษณะพฤติกรรมของอุณหภูมิในรูปแบบเดียวกันกับวันตัวแทนทั้งสองที่ได้กล่าวมา โดยห้องนั่งเล่น มีพฤติกรรมการถ่ายเทและระยะเวลาหน่วงความร้อนไปในทิศทางเดียวกันกับอาคารกรณีศึกษา แต่จะต่ำกว่าโดยเฉลี่ยในช่วงกลางวัน ประมาณ  $0.5^{\circ}\text{C}$  ส่วนห้องนอน1 และ2 ชั้นบน ซึ่งจะมีอุณหภูมิช่วงกลางคืนเป็นรายชั่วโมงลดลงจากอาคารกรณีศึกษาเดิมประมาณ  $1.5^{\circ}\text{C}$  และ  $0.5^{\circ}\text{C}$  โดยเฉลี่ยตามลำดับ และจะลดลงเร็วกว่าประมาณ 1 ชั่วโมง

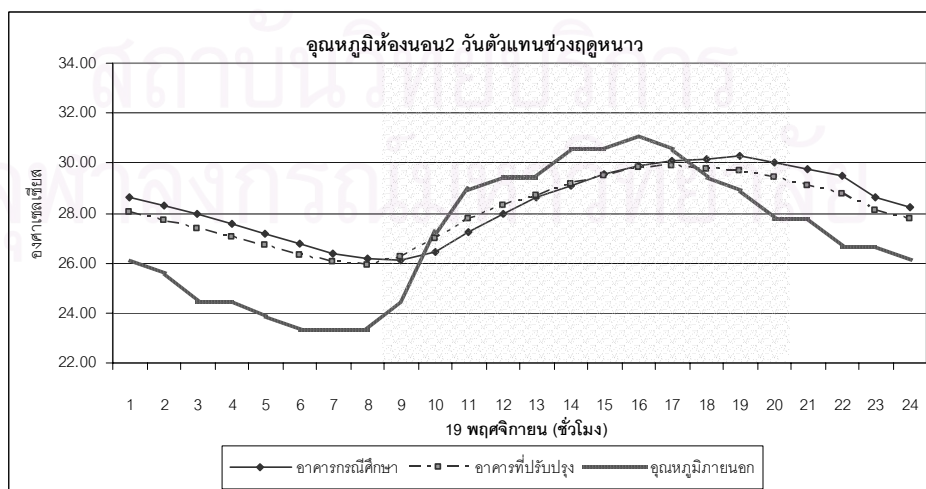
#### 5.6.4 การเปรียบเทียบวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



แผนภูมิที่ 5.70 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนั่งเล่น อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



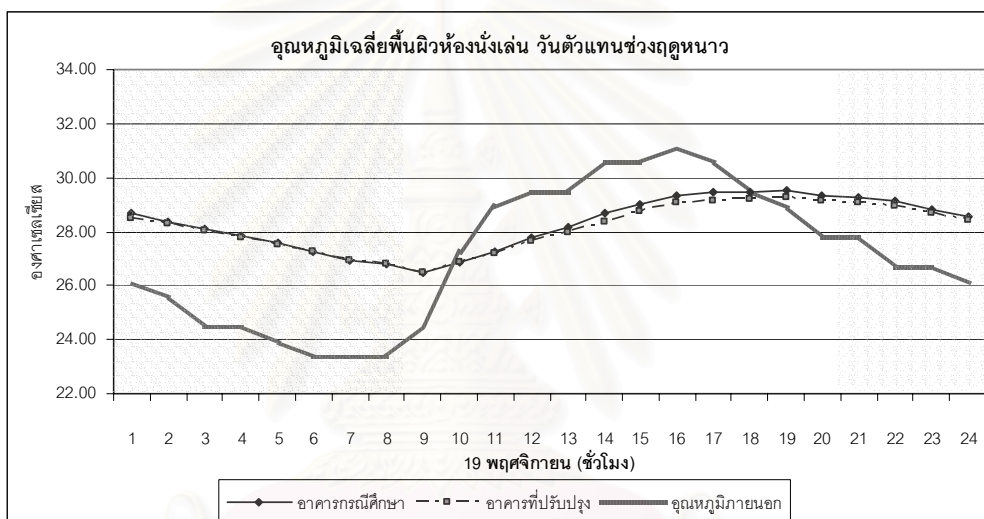
แผนภูมิที่ 5.71 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน1 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



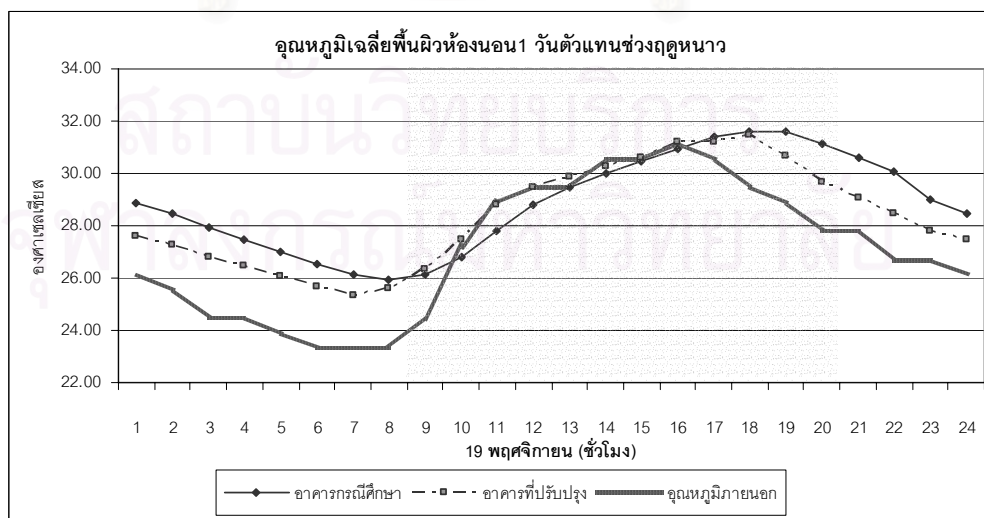
แผนภูมิที่ 5.72 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน2 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)

ตารางที่ 5.28 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)

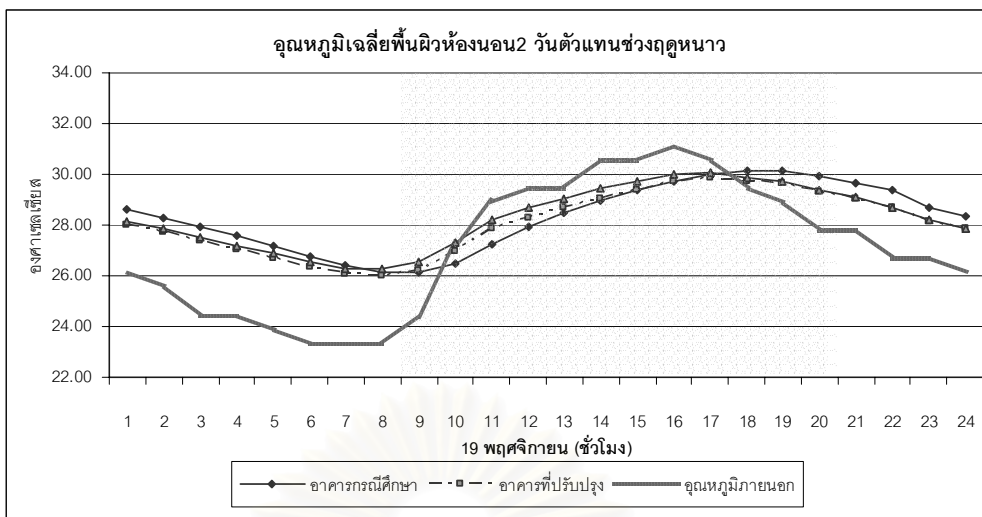
		อาคารกรณีศึกษา	อาคารที่ปรับปรุง	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	28.33	28.20	27.08
	สูงสุด (°C)	29.78	29.56	31.11
	ต่ำสุด (°C)	26.06	26.06	23.33
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	29.01	28.45	27.08
	สูงสุด (°C)	32.00	31.67	31.11
	ต่ำสุด (°C)	25.94	25.33	23.33
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	28.35	28.09	27.08
	สูงสุด (°C)	30.28	29.89	31.11
	ต่ำสุด (°C)	26.11	25.94	23.33



แผนภูมิที่ 5.73 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนั่งเล่น อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



แผนภูมิที่ 5.74 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน1 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)



แผนภูมิที่ 5.75 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยห้องนอน2 อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)

ตารางที่ 5.29 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวห้องของวันตัวแทนฤดูหนาว (19 พฤศจิกายน 2542)

		อาคารกรณีศึกษา	อาคารที่ปรับปรุง	อุณหภูมิภายนอก
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	เฉลี่ย (°C)	28.27	28.13	27.08
	สูงสุด(°C)	29.50	29.28	31.11
	ต่ำสุด(°C)	26.44	26.50	23.33
ห้องนอน 1 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	28.86	28.36	27.08
	สูงสุด(°C)	31.61	31.44	31.11
	ต่ำสุด(°C)	25.94	25.33	23.33
ห้องนอน 2 ชั้นบน	เฉลี่ย (°C)	28.32	28.07	27.08
	สูงสุด(°C)	30.11	29.83	31.11
	ต่ำสุด(°C)	26.17	26.00	23.33

**สรุปผลการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง วันตัวแทนช่วงฤดูหนาว**

จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวอาคารของห้องนั่งเล่น ห้องนอน1 และห้องนอน2 ในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (25 ธันวาคม2542) ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของอาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุงเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาเดิม ซึ่งมีลักษณะพฤติกรรมของอุณหภูมิในรูปแบบเดียวกันกับวันตัวแทนทั้ง 3 วัน ที่ได้กล่าวมา โดยห้องนั่งเล่น มีพฤติกรรมการถ่ายเทและระยะเวลาห่วงความร้อนไปในทิศทางเดียวกันกับอาคารกรณีศึกษา แต่จะต่ำกว่าโดยเฉลี่ยในช่วงกลางวัน ประมาณ 0.5 °C ส่วนห้องนอน1 และ2 ชั้นบน ซึ่งจะมีอุณหภูมิช่วงกลางวันเป็นรายชั่วโมงลดลงจากอาคารกรณีศึกษาเดิมประมาณ 1.5 °C และ 0.5 °C โดยเฉลี่ยตามลำดับ และจะลดลงเร็วกว่าประมาณ 1 ชั่วโมง



### 5.6.5 สรุปผลการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาที่ทำการปรับปรุง

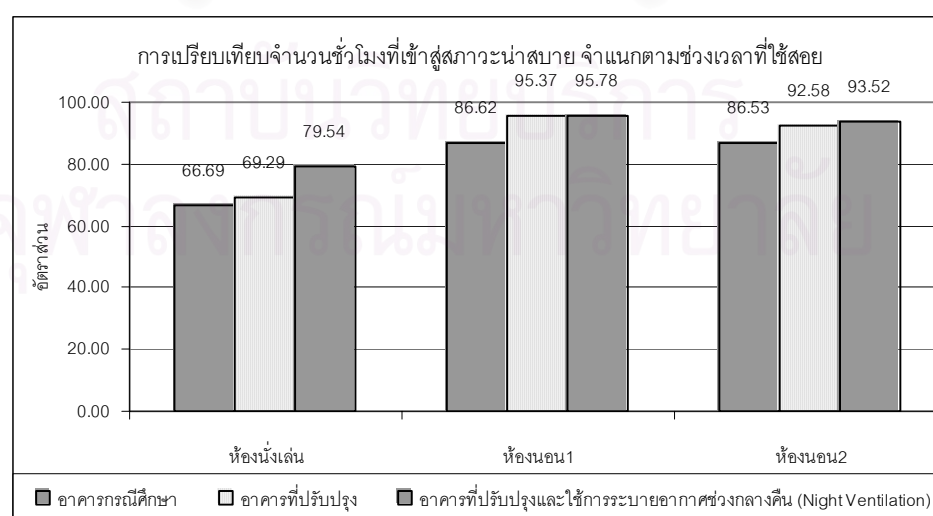
จากการที่ได้ทำการวิเคราะห์ปรับปรุงองค์ประกอบอาคารกรณีศึกษาที่พบสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นทางด้านอุณหภูมิภายในอาคาร ส่วนขององค์ประกอบผนังภายนอกและหน้าต่างอาคาร ทำให้ได้พิจารณาเลือกแนวทางการปรับปรุงในแต่ละองค์ประกอบ ที่เหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เทคนิค และสภาวะน่าสบายให้กับตัวอาคารกรณีศึกษา และนำแนวทางที่เหมาะสมที่สุดมาพิจารณาประกอบร่วมกัน โดยคำนึงถึงลักษณะพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่อาคารในแต่ละช่วงเวลา ทำให้ได้ลักษณะการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา จากเดิมที่มีผนังภายนอกอาคารเป็นผนังก่ออิฐบล็อกจากปูนเรียบทั้งอาคาร ได้ทำการปรับปรุงแยกเป็น 2 ส่วน คือ ชั้นล่างห้องนั่งเล่น ซึ่งเป็นห้องที่มีการใช้สอยในช่วงกลางวัน ได้ปรับปรุงเป็นผนังก่ออิฐมวลฉนวนฉนวนฉนวนเรียบ เนื่องจากเป็นวัสดุผสมสารมากมีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำ และสามารถหน่วงความร้อนได้ดี ส่วนชั้นบนห้องนอน1และ2 ซึ่งเป็นห้องที่ใช้สอยในช่วงกลางคืน ได้ปรับปรุงเป็นผนังเบาภายนอกเป็นซีเมนต์บอร์ด โคร่งเคร่า และช่องว่างอากาศรวม 10 ซม. ภายในกรุด้วยยิปซัมบอร์ด 12 มม. เนื่องจากเป็นวัสดุผสมสารน้อยทำให้มีการถ่ายเทความร้อนสูง และสามารถคายความร้อนได้เร็วกว่าวัสดุอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ ส่วนความร้อนที่เกิดจากหน้าต่างอาคารกรณีศึกษา ได้ทำการปรับปรุงโดยการเพิ่มระยะกันสาดแนวนอนเหนือวงกบหน้าต่าง ในบางส่วนของหน้าต่างอาคาร เพื่อช่วยลดการถ่ายเทความร้อนและป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านโดยตรง กล่าวคือหน้าต่างด้านทิศตะวันออกของห้องนั่งเล่นชั้นล่าง ซึ่งเดิมมีแนวกันสาดยื่น 0.70 ม. ได้เพิ่มเป็น 1.00 ม. ส่วนชั้นบนเพิ่มเติมในส่วนผนังด้านทิศใต้ของห้องนอน1 ซึ่งเดิมมีแนวกันสาดยื่น 0.50 ม. ได้เพิ่มอีก 0.50 ม. และหน้าต่างด้านทิศเหนือของห้องนอน2 ซึ่งเดิมไม่มีการป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ให้กับหน้าต่าง โดยติดตั้งเพิ่มในระยะยื่น 1.00 ม.

เมื่อนำแต่ละแนวทางปรับปรุงองค์ประกอบมาพิจารณาร่วมกัน แล้วจึงนำมาประเมินผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์อีกครั้ง โดยเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาเดิม สามารถสรุปได้ว่า อาคารที่ทำการปรับปรุง จะมีช่วงเวลาที่อยู่ในระดับสภาวะน่าสบายตลอดทั้งวันเฉพาะในช่วงฤดูหนาว ส่วนฤดูร้อนนั้นสามารถเข้าสู่ระดับสภาวะน่าสบายได้ในช่วงกลางคืน ตั้งแต่เวลา 21.00 น. กระทั่งถึงช่วงกลางวันเวลา 13.00 น. ของวันรุ่งขึ้นโดยประมาณ เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง ส่วนอีก 8 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 13.00-21.00น. ในช่วงฤดูร้อนไม่สามารถเข้าสู่สภาวะน่าสบายได้ จึงควรพิจารณานำระบบเครื่องกลปรับอากาศเข้ากับส่วนพื้นที่ที่ใช้สอยในช่วงเวลาดังกล่าว เพื่อช่วยให้อุณหภูมิภายในอาคารเข้าสู่สภาวะน่าสบายตลอดทั้งปี อีกทั้งจากการประเมินข้างต้นทางด้านสภาวะน่าสบาย ทำให้สามารถสรุปตารางเปรียบเทียบชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบายตลอดทั้งปีของอาคารกรณีศึกษา กับอาคารที่ทำการปรับปรุง พร้อมทั้งได้พิจารณาขยายผลเพิ่มเติมในส่วนของการปรับปรุงแล้วใช้การระบายอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน (Night ventilation) ทั้งอาคารประกอบด้วย ดังตารางที่ 5.30 โดยได้จำแนกตามพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ ทำให้ทราบว่าอาคารปรับปรุงแล้ว ในส่วนของห้องนั่งเล่นชั้นล่างที่ใช้สอยในช่วงกลางวันเวลาประมาณ 08.00-20.00 น. เป็นเวลา 4,380 ชั่วโมงต่อปี สามารถเข้าสู่ระดับสภาวะน่าสบายเพิ่มขึ้นอีก 2.6 หรือคิดเป็นร้อยละ 69.29 ของช่วงเวลาที่ใช้สอยพื้นที่ต่อปี ซึ่งอาคารกรณีศึกษาเดิมจะมีชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบายอยู่ที่ร้อยละ 66.69 แต่หากพิจารณาอาคารที่ปรับปรุงและใช้การระบายอากาศช่วงกลางคืนร่วมด้วย จะสามารถเข้าสู่สภาวะน่าสบายเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 12.85 จากอาคารกรณีศึกษาเดิมซึ่งคิดเป็นร้อยละ 79.54 ของช่วงเวลาที่ใช้สอยพื้นที่ต่อปี ส่วนพื้นที่ใช้สอยชั้นบนซึ่งเป็นห้องนอน1และ2 จะมีการใช้สอยพื้นที่ในช่วงกลางคืนประมาณ 20.00-08.00 น. เป็นเวลารวม 4,380 ชั่วโมงต่อปีนั้น อาคารที่ทำการปรับปรุง สามารถเข้าสู่ระดับสภาวะน่าสบายเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 8.75 และ 6 ตามลำดับ หรือคิดเป็นร้อยละ 95.37

และ 92.58 ของช่วงเวลาที่ใช้สอยพื้นที่ต่อปี ตามลำดับ จากอาคารกรณีศึกษาเดิมที่มีอัตราส่วนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบายเฉพาะช่วงเวลาที่ใช้สอยห้องนอน1 และ2 ร้อยละ 86.62 และ 86.53 ตามลำดับ ส่วนอาคารที่ปรับปรุงและใช้การระบายอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน (night ventilation) ร่วมด้วย จะมีผลกับพื้นที่ใช้สอยห้องนอน 1 และ2 เพียงเล็กน้อย เนื่องจากชั้นบนของอาคารได้กำหนดให้มีการระบายอากาศในช่วงกลางคืนอยู่แล้ว อัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากการที่ชั้นล่างได้รับการระบายอากาศในช่วงกลางคืนร่วมด้วย จึงทำให้ไม่เกิดความร้อนที่สะสมในส่วนชั้นล่างแล้วส่งผ่านขึ้นมายังห้องนอนชั้นบนเหมือนกับกรณีของอาคารกรณีศึกษาเดิม และยังเป็นการช่วยพัดพาความร้อนที่สะสมในพื้นชั้นสองจากช่วงกลางวัน ให้ระบายออกสู่ภายนอกได้เร็วยิ่งขึ้น

ตารางที่ 5.30 การเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิภายในเข้าสู่สภาวะน่าสบาย จำแนกตามห้องและช่วงเวลาที่ใช้สอยพื้นที่ต่อปี

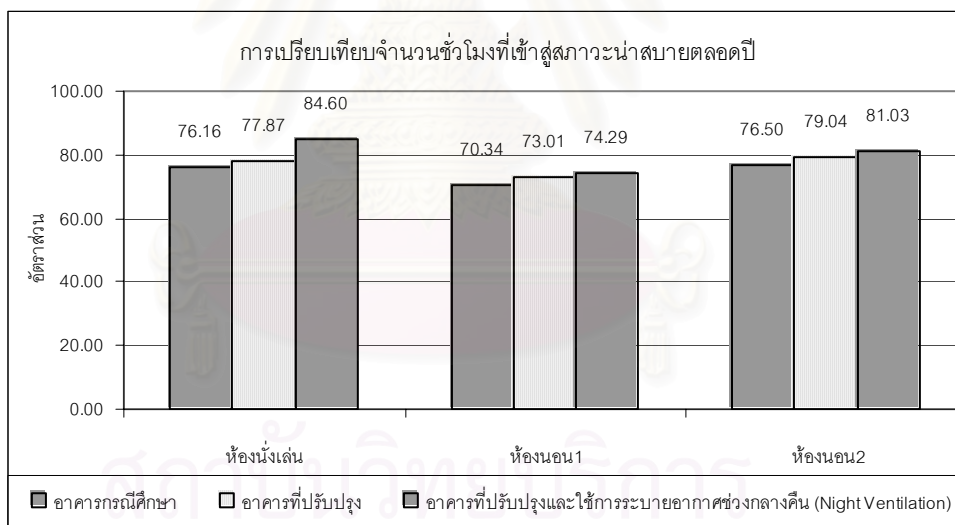
พื้นที่ใช้สอย	จำนวนชั่วโมงและช่วงเวลาที่ใช้สอยพื้นที่	รายละเอียด	อาคารกรณีศึกษา	อาคารที่ปรับปรุง	อาคารที่ปรับปรุงและใช้การระบายอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน (Night Ventilation) เวลา 20.00-08.00 น.
ห้องนั่งเล่นชั้นล่าง	4,380 ชั่วโมง (08.00-20.00 น.)	จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบาย	2,921	3,035	3,484
		อัตราส่วนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบาย (%)	66.69	69.29	79.54
ห้องนอน1 ชั้นบน	4,380 ชั่วโมง (20.00-08.00 น.)	จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบาย	3,794	4,177	4,195
		อัตราส่วนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบาย (%)	86.62	95.37	95.78
ห้องนอน2 ชั้นบน	4,380 ชั่วโมง (20.00-08.00 น.)	จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบาย	3,790	4,055	4,096
		อัตราส่วนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบาย (%)	86.53	92.58	93.52



แผนภูมิที่ 5.76 การเปรียบเทียบอัตราส่วนจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิภายในเข้าสู่สภาวะน่าสบาย จำแนกตามห้องและช่วงเวลาที่ใช้สอยพื้นที่ต่อปี

ตารางที่ 5.31 การเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิภายในเข้าสู่สภาวะน่าสบายตลอดปี (8,760 ชั่วโมง)

พื้นที่ ใช้สอย	รายละเอียด	อาคาร กรณีศึกษา	อาคารที่ ปรับปรุง	อาคารที่ปรับปรุงและใช้การระบาย อากาศช่วงกลางคืน (Night Ventilation)
ห้องนั่งเล่น ชั้นล่าง	จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะ น่าสบาย (8,760 ชั่วโมง)	6,672	6,821	7,411
	อัตราส่วนชั่วโมงที่เข้าสู่ สภาวะน่าสบาย (%)	76.16	77.87	84.60
ห้องนอน1 ชั้นบน	จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะ น่าสบาย(8,760 ชั่วโมง)	6,162	6,396	6,508
	อัตราส่วนชั่วโมงที่เข้าสู่ สภาวะน่าสบาย (%)	70.34	73.01	74.29
ห้องนอน2 ชั้นบน	จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะ น่าสบาย(8,760 ชั่วโมง)	6,701	6,924	7,098
	อัตราส่วนชั่วโมงที่เข้าสู่ สภาวะน่าสบาย (%)	76.50	79.04	81.03



แผนภูมิที่ 5.77 การเปรียบเทียบอัตราส่วนจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิภายในเข้าสู่สภาวะน่าสบายตลอดปี (8,760 ชั่วโมง)

## บทที่ 6

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้ ประกอบด้วยการศึกษา 2 ส่วนหลัก ส่วนแรกเป็นการสำรวจ ประเมินและวิเคราะห์ อาคารกรณีศึกษา ส่วนหลังเป็นการศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา ให้มีความเหมาะสมทั้งในเชิง เทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสภาวะน่าสบายภายในอาคาร จากการศึกษาในบทที่ผ่านมา สามารถสรุปผลการ ศึกษาวิจัยได้ดังนี้

#### 6.1 การประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

จากการประเมินและวิเคราะห์ข้อเสียของอาคารกรณีศึกษา พบว่าการพิจารณาทางด้านมาตรฐาน การอนุรักษ์พลังงานนั้น อาคารกรณีศึกษาผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้ทุกประการ กล่าวคือ ค่าการ ถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางผนังอาคารกรณีศึกษา (OTTV) มีค่า 40.31 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งเกณฑ์มาตรฐาน กำหนดไว้ไม่เกิน 45 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางหลังคาอาคารกรณีศึกษา (RTTV) มีค่า 9.99 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมาตรฐานกำหนดไว้ไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนค่าปริมาณพลังงาน ไฟฟ้าแสงประดิษฐ์เฉลี่ยพื้นที่ทั้งหมดของอาคารมีค่า 4.8 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ไม่ เกิน 16 วัตต์ต่อตารางเมตร เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาทางด้านสภาวะน่าสบายภายในอาคาร พบว่า อาคาร กรณีศึกษานั้นมีอุณหภูมิภายในที่สูงกว่าระดับสภาวะน่าสบายในช่วงกลางวันของฤดูร้อน จึงได้ทำการประเมิน แหล่งที่มาและอัตราส่วนความร้อนที่เกิดขึ้น ในแต่ละองค์ประกอบของอาคาร โดยสามารถจำแนกองค์ประกอบ อาคารที่มีความเหมาะสมในการนำมาพิจารณาปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาได้ดังนี้

1. การลดอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนผ่านทางเปลือกอาคารส่วนผนังทึบ ให้เกิดความเหมาะสมใน แต่ละพื้นที่ใช้สอยของอาคาร
2. การลดอัตราส่วนการนำความร้อนและการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านที่เปลือกอาคารส่วนช่องเปิด หน้าต่างอาคาร

#### 6.2 แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

เมื่อพิจารณาวิธีการปรับปรุงในแต่ละองค์ประกอบของอาคาร ซึ่งได้วิธีการปรับปรุงที่มีความเหมาะสม กับอาคารกรณีศึกษาแล้ว จึงทำการเสนอแนวทางการปรับปรุงอาคารร่วมกันในทุกองค์ประกอบ เพื่อความ เหมาะสมทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ได้ดังนี้

- | องค์ประกอบอาคาร  | วิธีการปรับปรุงที่เหมาะสม   |
|------------------|---|
| 1. ผนังอาคาร     | 1.1 ผนังชั้นล่าง ผนังก่ออิฐมวลเบาครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบทั้งสองด้าน<br>1.2 ผนังชั้นบน ผนังเบา ภายนอกกรุซีเมนต์บอร์ด โครงเคว่าเหล็กชุบ สังกะสี และช่องว่างอากาศ 0.10 ม. ภายในกรุยิปซัมบอร์ด |
| 2. หน้าต่างอาคาร | 2.1 หน้าต่างชั้นล่างด้านทิศตะวันออกของห้องนั่งเล่น กั้นสาดยื่นเพิ่มขึ้น จากเดิมซึ่งมีระยะ 0.70 ม. เป็น 1.00 ม.  |

2.2 หน้าต่างชั้นบนด้านทิศใต้ของห้องนอน 1 กันสาดยื่นเพิ่มขึ้นจาก เดิม ซึ่งมีระยะ 0.50 ม. เป็น 1.00 ม.

2.3 หน้าต่างชั้นบนด้านทิศเหนือของห้องนอน 2 ซึ่งเดิมไม่มีการป้องกัน แสงแดด จึงทำการติดตั้งกันสาดยื่น 1.00 ม. เหนือวงกบหน้าต่าง

จากแนวทางการปรับปรุงข้างต้น สามารถพิจารณาผลการปรับปรุงอาคารเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาเดิม พร้อมทั้งขยายผลการปรับปรุงโดยพิจารณาการใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเฉพาะช่วงกลางคืน (night ventilation) ประกอบร่วมกับแนวทางการปรับปรุงอาคาร ซึ่งสามารถสรุปผลการปรับปรุงได้ดังนี้

### 6.2.1 ผลการปรับปรุงอาคาร

1. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางผนังอาคาร (OTTV) 37.79 วัตต์ต่อตารางเมตร
2. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางหลังคาอาคาร (RTTV) 9.99 วัตต์ต่อตารางเมตร
3. ค่าก่อสร้างอาคาร 227,208 บาท ซึ่งเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาเดิม 15,683 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 7.4 ของค่าก่อสร้างเดิม
4. จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบาย เฉพาะช่วงเวลาที่ใช้สอยในแต่ละพื้นที่ (4,380 ชม.) โดยเฉลี่ยรวมทั้งอาคารเท่ากับ 3,756 ชั่วโมง หรือร้อยละ 86 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาเดิมร้อยละ 6
5. จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบาย ตลอดทั้งปี (8,760 ชม.) โดยเฉลี่ยรวมทั้งอาคารเท่ากับ 6,714 ชั่วโมง หรือร้อยละ 77 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาเดิมร้อยละ 3

### 6.2.2 ผลการปรับปรุงอาคารร่วมกับการใช้การระบายอากาศเฉพาะช่วงกลางคืน

(night ventilation)

1. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางผนังอาคาร (OTTV) 37.79 วัตต์ต่อตารางเมตร
2. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางหลังคาอาคาร (RTTV) 9.99 วัตต์ต่อตารางเมตร
3. ค่าก่อสร้างอาคาร 227,208 บาท ซึ่งเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาเดิม 15,683 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 7.4 ของค่าก่อสร้างเดิม
4. จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบาย เฉพาะช่วงเวลาที่ใช้สอยในแต่ละพื้นที่ (4,380 ชม.) โดยเฉลี่ยรวมทั้งอาคารเท่ากับ 3,925 ชั่วโมง หรือร้อยละ 90 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาเดิม ร้อยละ 10
5. จำนวนชั่วโมงที่เข้าสู่สภาวะน่าสบาย ตลอดทั้งปี (8,760 ชม.) โดยเฉลี่ยรวมทั้งอาคารเท่ากับ 7,006 ชั่วโมง หรือร้อยละ 80 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาเดิม ร้อยละ 6

## 6.3 สรุปประเด็นและปัญหาที่สำคัญในการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ สามารถสรุปประเด็นและปัญหาของอาคารกรณีศึกษาได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร จากการศึกษพบว่าอาคารกรณีศึกษามีแหล่งที่มาของความร้อนหลักๆมาจากการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร โดยส่วนใหญ่มาจากผนังก่อคอนกรีตบล็อกฉนวนเรียบ ความร้อนที่เข้ามาในอาคารเป็นสาเหตุทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่าระดับสภาวะน่าสบายมากยิ่งขึ้น จึงเกิดการใช้พลังงานเพื่อให้อุณหภูมิเข้าสู่สภาวะน่าสบาย ซึ่งอาคารที่มีลักษณะใกล้เคียงกับอาคาร

กรณีศึกษา และตั้งอยู่ในภูมิภาคร้อนขึ้นอย่างประเทศไทย โดยมากมักจะมีแหล่งที่มาของความร้อนจากทางเปลือกอาคารเป็นหลักเช่นกัน โดยมาจากผนังที่ภายนอก ช่องเปิดและหลังคาอาคาร ดังนั้นการออกแบบอาคารจึงให้ความสำคัญกับการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารด้วย สำหรับผนังที่บและหลังคาอาคารควรเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในความเป็นฉนวน ส่วนช่องเปิดหน้าต่างอาคารควรระวังไม่ให้ถูกรังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง

2. ระดับสภาวะนำสบายทางอุณหภูมิภายในอาคาร จากการศึกษาพบว่าอาคารกรณีศึกษามีอุณหภูมิภายในอาคารที่เหนือระดับสภาวะนำสบายในช่วงฤดูร้อน โดยมีสาเหตุหลักมาจากค่าอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวที่สูงซึ่งเกิดจากผนังภายนอกอาคารได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์โดยตรง ดังนั้นการออกแบบอาคารจึงควรคำนึงถึงการป้องกันไม่ให้ผนังอาคารถูกแสงแดดโดยตรง ด้วยการสร้างร่มเงาให้ผนังอาคาร ซึ่งจะช่วยลดค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีของพื้นผิวผนัง และเป็นวิธีที่จะช่วยให้อุณหภูมิภายในอาคารเข้าสู่สภาวะนำสบายได้มากขึ้น

3. อุปกรณ์ป้องกันแสงแดดนอกอาคาร อาคารกรณีศึกษามีอุปกรณ์กันแดดเป็นลักษณะแผงกันแดดแนวนอนเหนือวงกบหน้าต่าง จากการสำรวจพบว่า แผงกันแดดในบางส่วนไม่มีประสิทธิภาพการบังแดดที่เพียงพอ ทำให้แสงแดดในบางช่วงเวลาสามารถส่องผ่านหน้าต่างเข้าสู่ภายในอาคารได้ ดังนั้นการออกแบบในอนาคตจึงควรให้ความสำคัญกับการออกแบบแผงกันแดดภายนอกอาคารด้วย โดยการศึกษาให้เหมาะสมกับทิศทางตำแหน่งแนวการโคจรของดวงอาทิตย์ ในช่วงเวลาต่างๆของปี จากแผนภูมิดวงอาทิตย์ (sun chart) ซึ่งสามารถบอกทิศทางและมุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับอาคารได้ ทำให้สามารถออกแบบแผงกันแดดได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับอาคาร

4. ตำแหน่งและทิศทางการจัดวางอาคาร เนื่องด้วยอาคารกรณีศึกษา มีการจัดวางตัวอาคารที่ไม่สอดคล้องกับแนวการโคจรของดวงอาทิตย์ ตัวอาคารเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า วางแนวตามยาวในลักษณะที่วางกับการโคจรของดวงอาทิตย์ หันด้านยาวไปทางทิศตะวันตกกับตะวันตก ซึ่งทำให้พื้นที่ผนังส่วนใหญ่ของอาคารถูกแดดในช่วงเช้าถึงเย็น แต่เนื่องด้วยการจัดวางอาคารมีความสัมพันธ์กับแนวแกนของกลุ่มอาคารข้างเคียง มีระยะห่างระหว่างอาคารประมาณ 3 เมตร จึงทำให้เกิดการช่วยบังแดดซึ่งกันและกันกับอาคารข้างเคียง ซึ่งในการประเมินผลอาคารกรณีศึกษา ได้ทำการทดลองศึกษาเพิ่มเติมโดยการจำลองสภาพอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ให้อาคารจัดวางในตำแหน่งที่ไม่มีการให้ร่มเงาจากอาคารข้างเคียง ในกรณีที่เป็นอาคารหลังแรกหรือหลังสุดท้าย ทำให้ทราบถึงอุณหภูมิภายในอาคารสูงสุดของวันในช่วงฤดูร้อนจะสูงถึง  $34^{\circ}\text{C}$  ซึ่งสูงกว่าอาคารในตำแหน่งที่ทำการศึกษาวิจัยประมาณ  $1^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นการจัดวางตำแหน่งอาคาร นอกจากจะคำนึงถึงความสวยงาม ความสัมพันธ์กับแนวแกนและอาคารข้างเคียงแล้ว ควรจะต้องพิจารณาถึงความสัมพันธ์และสอดคล้องกับทิศทางของการโคจรของดวงอาทิตย์ด้วย

5. แนวทางการปรับปรุงอาคารนี้เป็นแนวทางที่มีความเหมาะสมกับอาคารกรณีศึกษามากที่สุด แต่ไม่ใช่แนวทางที่จะทำให้อาคารมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากแนวทางการปรับปรุงที่ช่วยทำให้เข้าสู่สภาวะนำสบายมากที่สุดนั้นต้องใช้งบประมาณในการลงทุนที่สูง เมื่อพิจารณาร่วมกับอาคารกรณีศึกษา จึงไม่สามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกวิธีการปรับปรุงประกอบได้ด้วย เนื่องด้วยอาคารกรณีเป็นอาคารที่มีข้อจำกัดทางด้านต้นทุนการก่อสร้าง ซึ่งต้องการการลงทุนที่ค่อนข้างต่ำ

6. เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE 2.1 E เป็นเครื่องมือในการวิจัย ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวมักจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงโดยประมาณ 10-15% ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากการใช้ข้อมูลที่ได้จากคู่มือวัสดุ ที่มีค่าสูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริงเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ หรือเกิดจากข้อมูลอุณหภูมิอากาศและข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมของอาคาร เป็นต้น จึงทำให้ผลสรุปของการวิจัยอาจไม่ตรงกับงานวิจัยอื่นๆ

ซึ่งมีการวิจัยในเรื่องนี้มาแล้ว ด้วยวิธีดำเนินการและเครื่องมือในการวิจัยที่ต่างกัน จึงทำให้ผลที่ได้อาจเกิดการคลาดเคลื่อนได้

#### 6.4 ข้อเสนอแนะ

1. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE 2.1 E ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ อาศัยข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพในปี พ.ศ. 2542 (ค.ศ.1999) มาเป็นฐานข้อมูลในการทำงานของโปรแกรม จึงอาจมีความคลาดเคลื่อนในการคำนวณและประเมินผล เนื่องจากไม่สามารถจัดเตรียมข้อมูล TRY (test reference year) และ TMY (typical meteorological year) ที่ทันสมัยมาใช้งานได้ และจากการศึกษายังไม่สามารถเข้าไปเขียนข้อมูลเพื่อนำไปใช้งานในโปรแกรมตรงส่วนนี้ได้ จึงควรมีการศึกษารวบรวมข้อมูลสำหรับจัดทำฐานข้อมูลสภาพอากาศเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

2. พื้นที่ใช้งานของห้องนั่งเล่นชั้นล่าง ช่วงกลางวันจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าระดับสภาวะน่าสบายอยู่มาก ซึ่งการจะลดอุณหภูมิลงด้วยวิธี passive system นั้นทำได้ยาก การแก้ไขที่ได้ผลที่สุดจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการทาง active system คือการใช้ระบบเครื่องกลเข้าช่วย ดังนั้นการออกแบบอาคารในอนาคต ในกรณีหากต้องการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ สิ่งที่ควรพิจารณาเพื่อให้อาคารมีประสิทธิภาพต่อการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศ คือขนาดเครื่องปรับอากาศที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ใช้สอย และพิจารณาระบบเปลือกอาคารที่มีประสิทธิภาพต่อการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยเฉพาะวัสดุผนังอาคารให้สอดคล้องกับการใช้งานในแต่ละพื้นที่และช่วงเวลา อีกทั้งควรมุ่งเน้นในเรื่องของการป้องกันการรั่วไหลของอากาศภายนอกที่จะเข้าสู่อาคาร ซึ่งหากมีการพิจารณาในเรื่องดังกล่าว จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในระบบเครื่องปรับอากาศลงได้

3. เนื่องจากสภาพอาคารในปัจจุบันที่มีการเข้าไปใช้สอยอาคารแล้ว จากการสำรวจพบว่าอาคารที่อยู่ในโครงการที่ทำการศึกษาร้อยละ 10 ของจำนวนอาคารทั้งหมดในโครงการ ได้มีการต่อเติมอาคารออกไปทั้งด้านหน้าและหลังของอาคาร เพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้พื้นที่ภายในอาคารแต่ละหลัง ซึ่งการต่อเติมอาคารนี้มีได้คำนึงถึงเรื่องการใช้พลังงานภายในอาคารที่เพิ่มขึ้นให้มีประสิทธิภาพ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- จารุวรรณ ประภาทรงสิทธิ์. เทคนิคการออกแบบปรับปรุงระบบเปลือกอาคาร เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ กรณีศึกษา: อาคารสำนักงานธนาคารทหารไทย (สำนักงานใหญ่) กรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- ตรีใจ บุรณสมภพ. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร: บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2539.
- ธนิต จินดาวงนิค. สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- ปริมลาภ วสุวัต. กลยุทธ์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการ: กรณีศึกษา อาคารกองวิทยากร กรมช่างโยธาทหารอากาศ ดอนเมือง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. การใช้งานวัสดุและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543.
- วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2538.
- สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- สรญา ประวิตะรางกูร. อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่มีต่อสภาวะน่าสบายและภาระการปรับอากาศในการออกแบบอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- สุทัศน์ เขียมวัฒนา. กลยุทธ์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

### ภาษาอังกฤษ

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. ASHRAE Handbook Fundamental. Atlanta, 1997.
- Asian Development Bank. Energy Efficiency References for Asian Use. Manila: Asian Development Bank, 1997.
- E-SOURCE. Air Conditioning Comfort: Behavioral and Cultural Issue. Colorado: E-SOURCE, 1992.
- Givani, B. Man, Climate and Architecture. New York: Elsevier Publishing, 1969.



- Givani, B. Passive and Low Energy Cooling of Building. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1994.
- Milton Meckler, P.E. Retrofitting of Buildings For Energy Conservation. 2<sup>nd</sup> Edition. Lilburn: The Fairmont Press, 1994.
- Reynolds J.S. Stein Benjamin. Mechanical and Electrical Equipment for Building. 8<sup>th</sup> Edition. New York: John Wiley&Sons, 1992.
- Santamouris, M. and Asimakopoulos, D. Passive Cooling of Buildings. London: James&James (Science Publishers), 1996.
- Victor Olgyay. Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1992.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

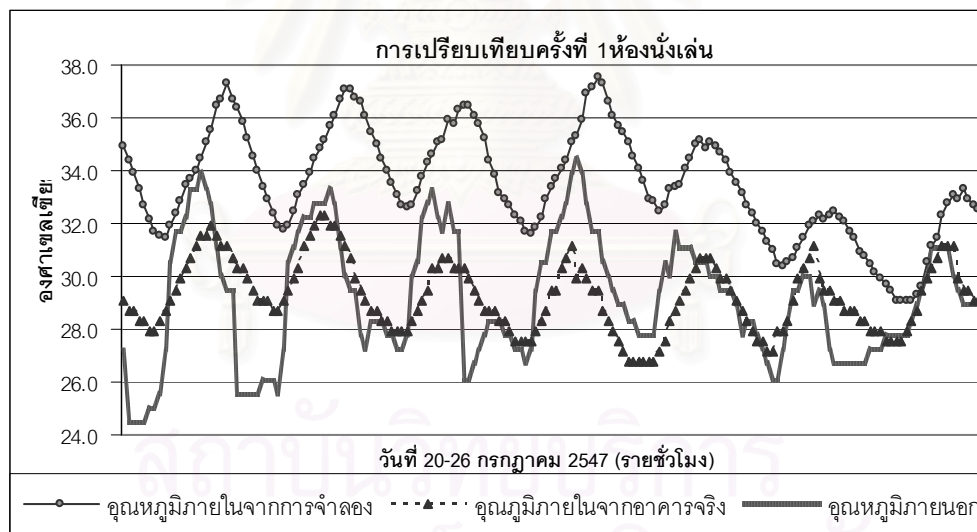
## ภาคผนวก ก.

### ขั้นตอนดำเนินการเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษากับอาคารจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

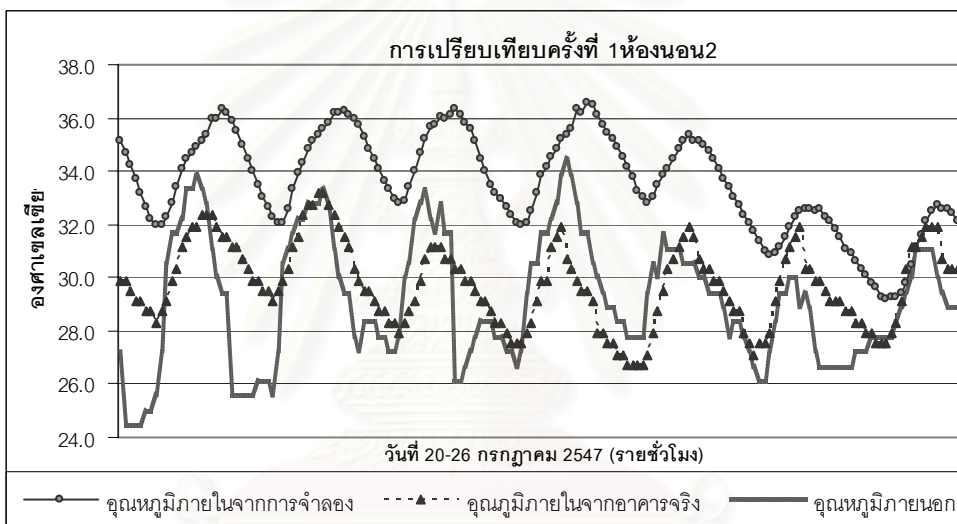
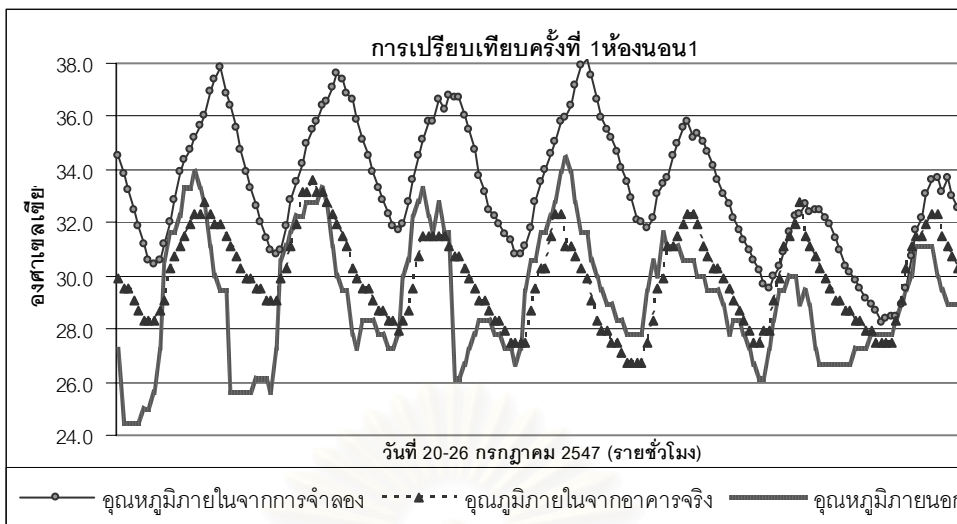
การเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษานั้น เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าอาคารจำลองสภาพการณ์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถเป็นตัวแทนของอาคารกรณีศึกษาได้หรือไม่ จึงต้องนำรายงานผลที่ได้จากโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เก็บมาจากอาคารกรณีศึกษา ซึ่งเป็นอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศ ข้อมูลที่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้นั้น เป็นข้อมูลทางด้านอุณหภูมิภายในอาคาร โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

#### การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในครั้งที่ 1

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในของชั้นล่างห้องนั่งเล่น ชั้นบนห้องนอน1 และ2 ระหว่างอุณหภูมิภายในอาคารที่เก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ (HOBO data logger) จากอาคารกรณีศึกษา กับอุณหภูมิภายในอาคารที่ได้จากการคำนวณผลการจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (DOE 2.1 E) ซึ่งจะเป็นว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่อุณหภูมิที่ได้จากการจำลองยังคงสูงกว่าอุณหภูมิที่เก็บจริง เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 ห้อง จะสูงกว่าประมาณ 5-6 °C โดยเฉลี่ย จึงควรมีการดำเนินการตรวจสอบถึงที่มาของสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น ให้เกิดความใกล้เคียงมากกว่านี้

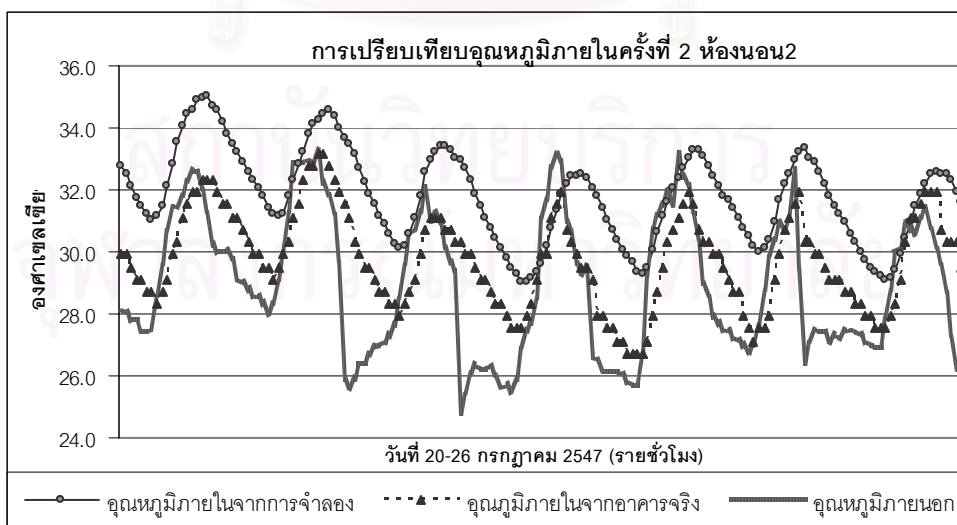
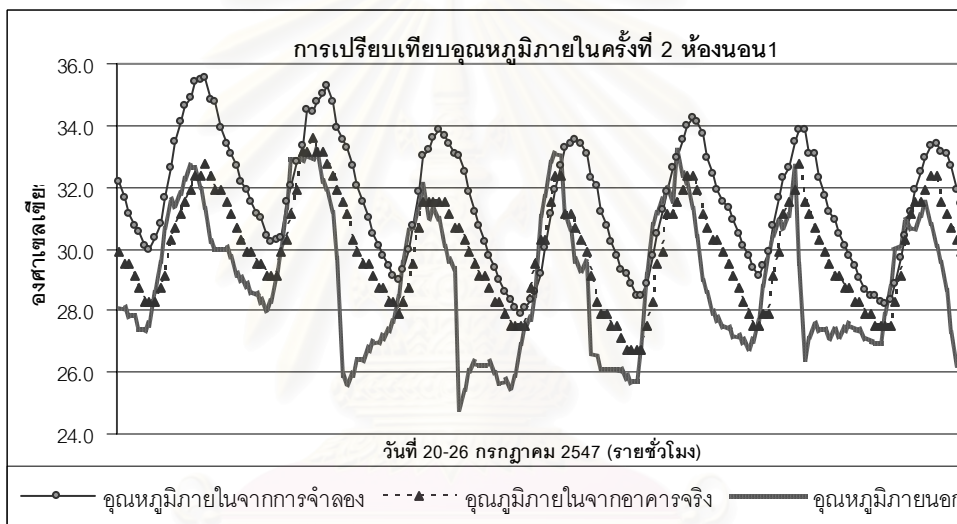
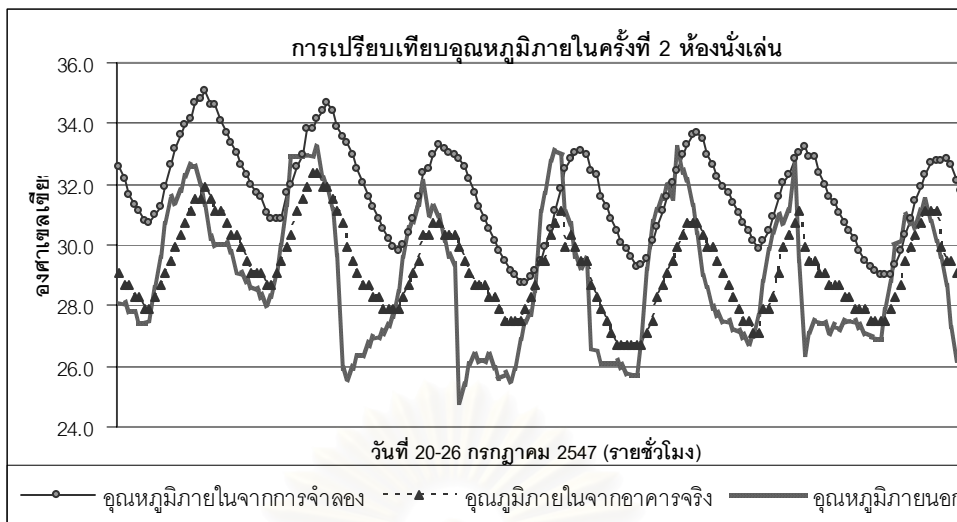


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



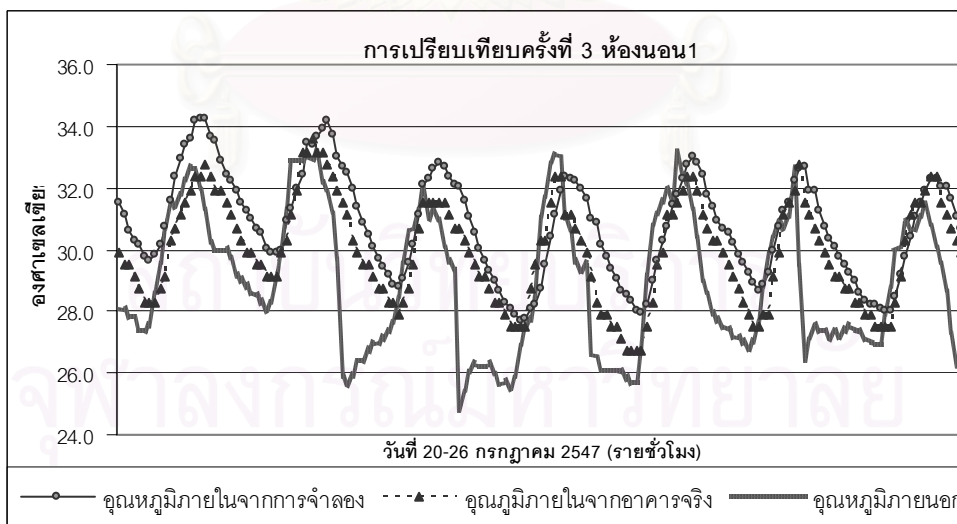
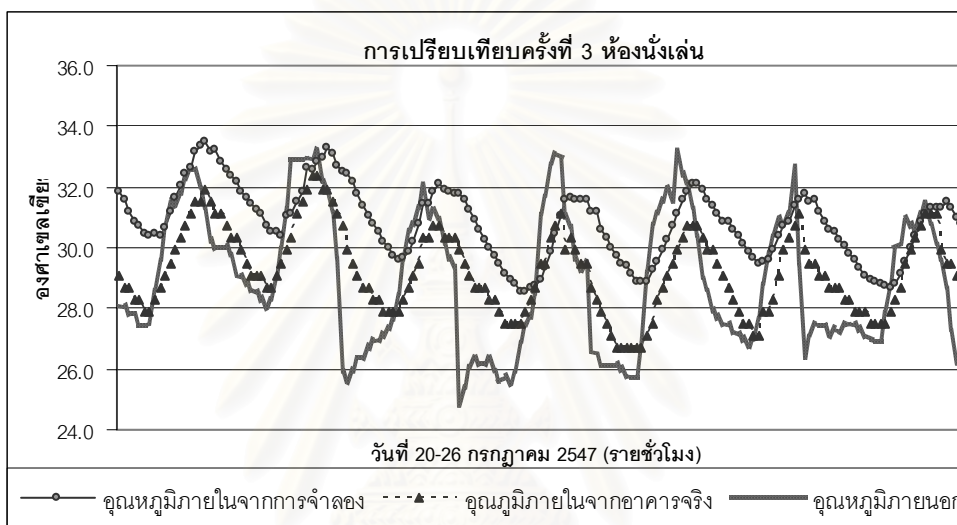
**การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในครั้งที่ 2**

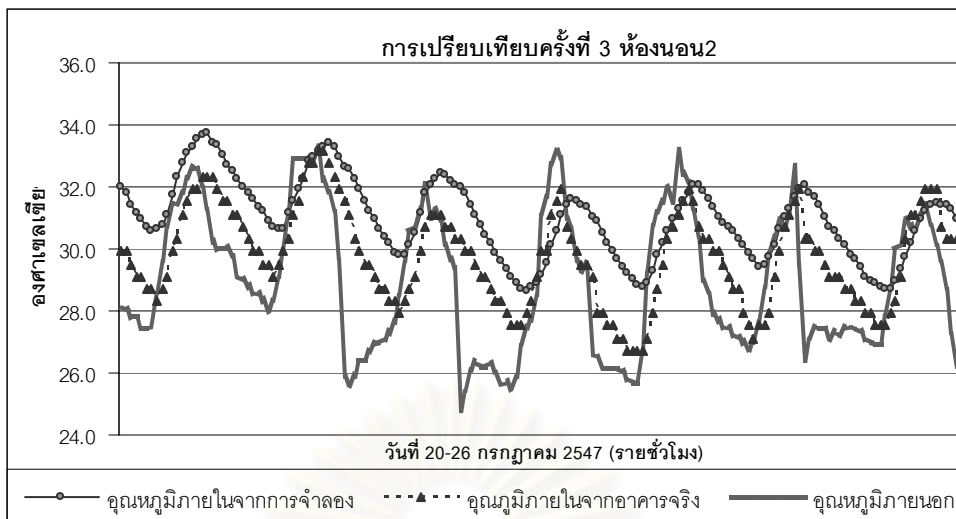
จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในครั้งที่ 1 พบว่าข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นฐานข้อมูลของปี พ.ศ. 2542 (ค.ศ.1999) ซึ่งเป็นคนละปีกับที่มีการเก็บข้อมูล (พ.ศ. 2547) ดังนั้นจึงได้ปรับฐานข้อมูลสภาพอากาศในช่วงที่ใช้เปรียบเทียบเป็นปี พ.ศ.2547 (ค.ศ.2004) แทน เพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณผลใกล้เคียงความจริง จากกราฟพบว่าอุณหภูมิภายในที่ได้จากการจำลองคอมพิวเตอร์ได้ปรับลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในจากอาคารกรณีศึกษามากยิ่งขึ้น แต่ยังคงสูงกว่าประมาณ 2-3 °C โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ห้อง



### การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในครั้งที่ 3

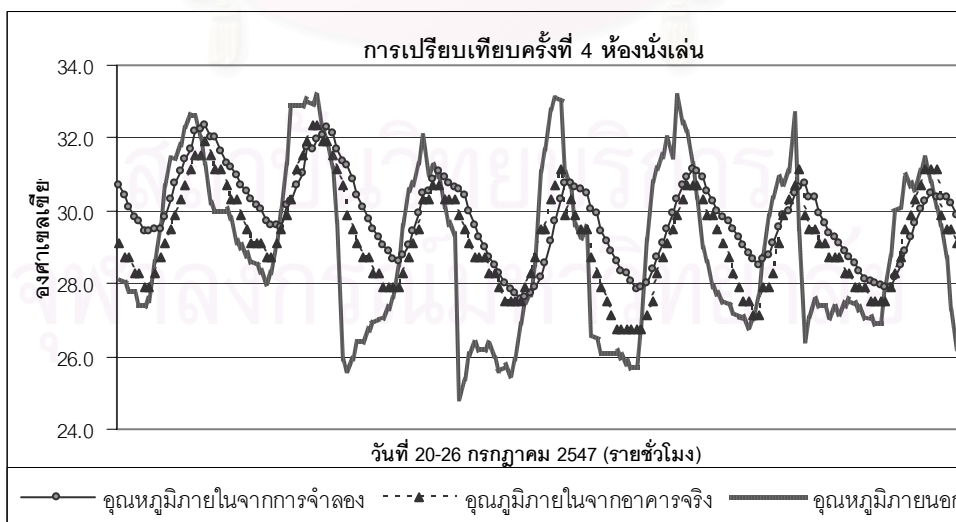
จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในครั้งที่ 1 และ 2 พบว่าอุณหภูมิภายในของอาคารที่จำลองยังคงสูงกว่าข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคารที่เก็บได้จริงจากอาคารกรณีศึกษาอยู่ประมาณ 2-3 °C โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ห้อง เมื่อพิจารณาตรวจสอบอีกครั้งจึงพบว่า อาคารที่จำลองมิได้จัดวางอาคารข้างเคียงเหมือนกับอาคารกรณีศึกษา ซึ่งเป็นอาคารที่ตั้งอยู่ตรงกลาง โดยมีอาคารข้างเคียงขนานข้างในระยะ 3 เมตร ทั้ง 2 ข้าง จึงได้ทำการกรอกข้อมูลอาคารข้างเคียงลงไปเพิ่มเติม จึงทำให้ได้ผลการเปรียบเทียบครั้งที่ 3 โดยพบว่า อุณหภูมิภายในที่ได้จากการจำลองคอมพิวเตอร์ ได้ปรับลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในจากอาคารกรณีศึกษามากยิ่งขึ้น แต่ยังคงสูงกว่าประมาณ 1-2 °C โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ห้อง

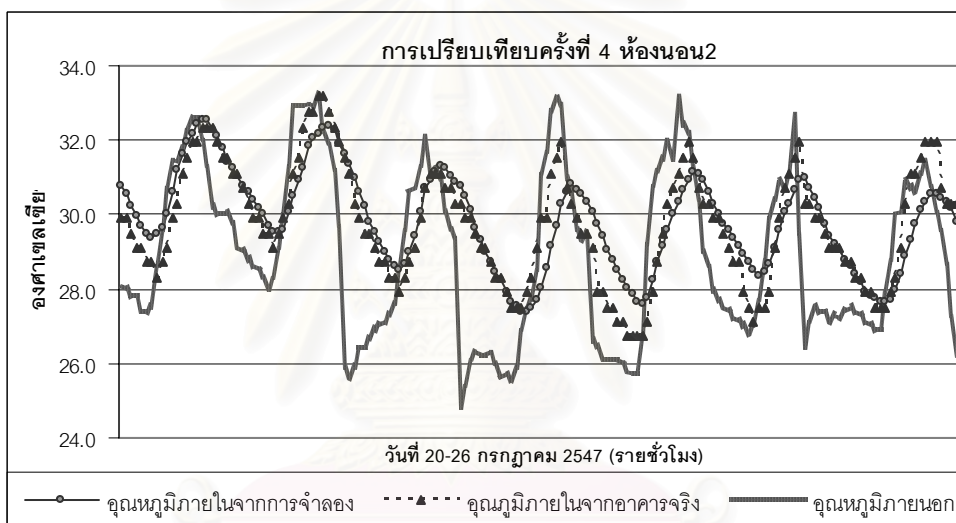
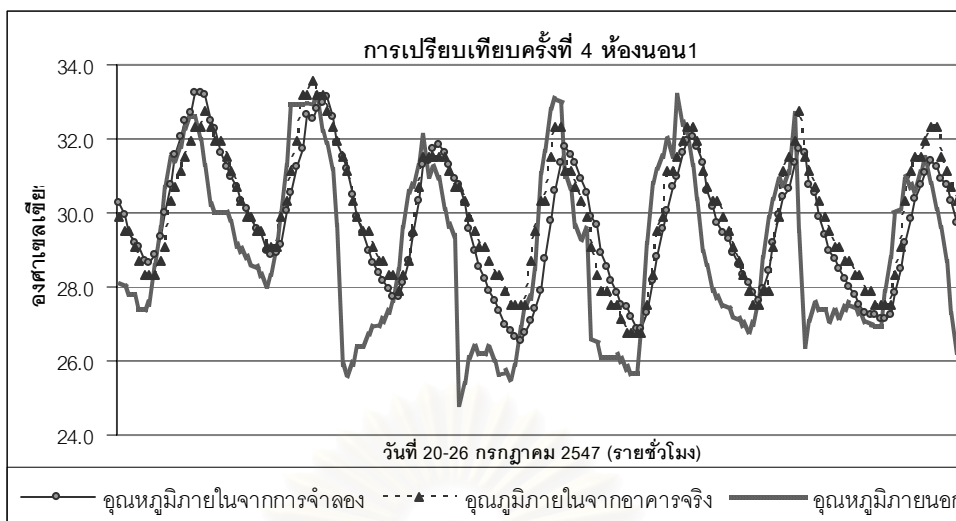




**การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในครั้งที่ 4**

จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในครั้งที่ 3 พบว่าอุณหภูมิภายในของอาคารที่จำลองยังคงสูงกว่าข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคารที่เก็บได้จริงจากอาคารกรณีศึกษาอยู่ประมาณ 1-2 °C โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ห้อง จึงได้พิจารณาตรวจสอบข้อมูลที่กรอกเข้าไปในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ว่ามีความละเอียดถูกต้องมากน้อยเพียงใด และพบว่าข้อมูลบางส่วนของส่วนประกอบอาคารยังมีค่าไม่ถูกต้อง ได้แก่ ค่า Conductivity ของ ผนัง, ค่า Density ของ ผนัง, ค่า Absorptance ของผนัง และค่า Shading-coefficient ของผนังกระจก อีกทั้งอาคารที่จำลองยังกำหนดให้มีการเปิดหน้าต่างบางช่วงเวลา ซึ่งต่างกับอาคารกรณีศึกษาจริงที่เปิดหน้าต่างตลอด 24 ชั่วโมง จึงปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ ให้มีความถูกต้อง ผลจากการเปรียบเทียบครั้งที่ 4 พบว่าระหว่างอุณหภูมิภายในจากอาคารกรณีศึกษา กับอุณหภูมิภายในของการจำลองคอมพิวเตอร์ มีความแตกต่างกันเพียง 0.5-1 °C โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ห้อง

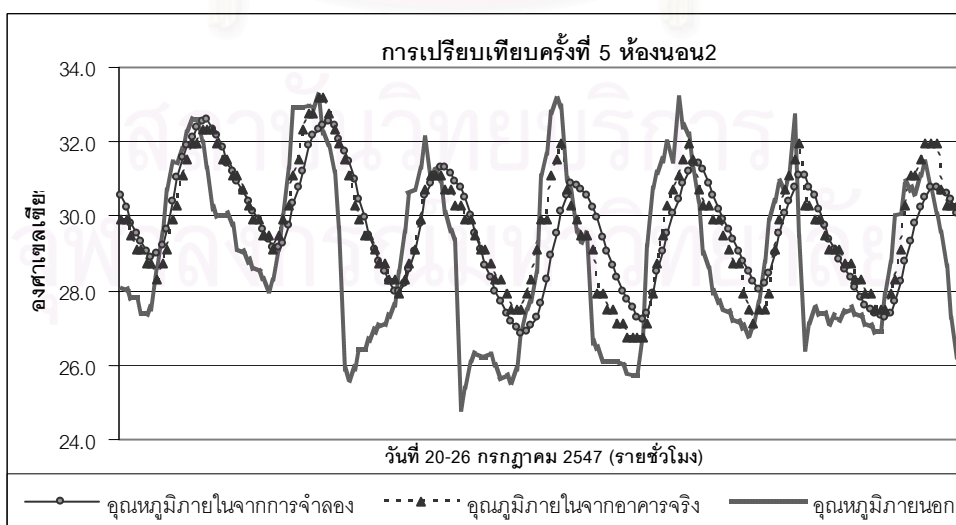
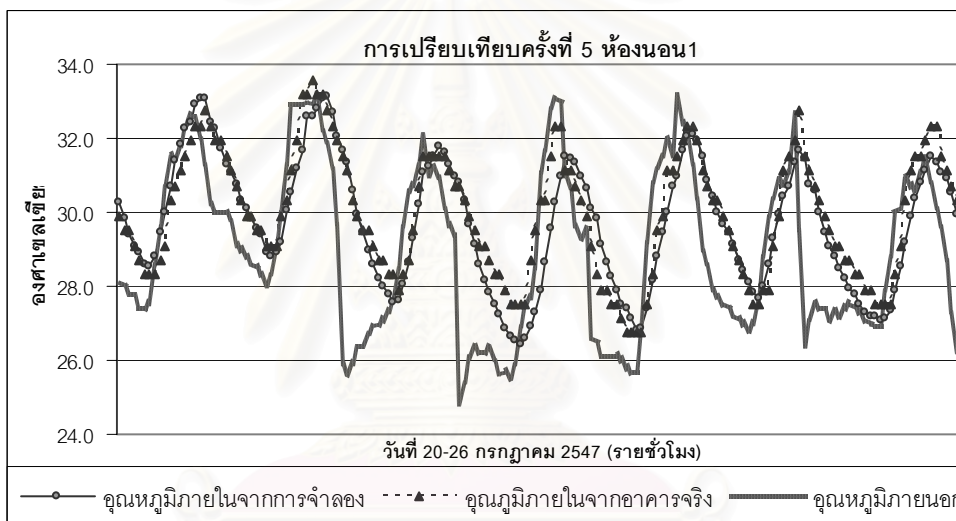
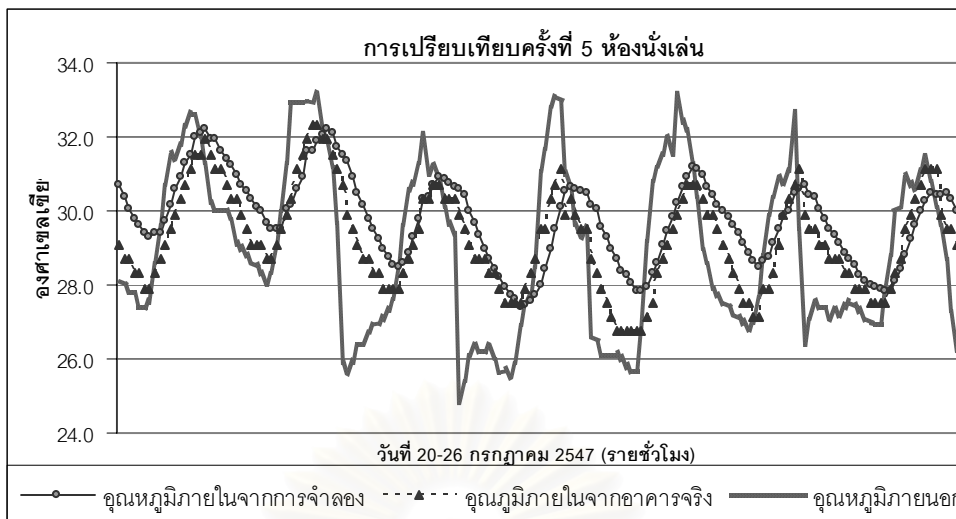




### การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในครั้งที่ 5

จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในครั้งที่ 4 พบว่าอุณหภูมิภายในของอาคารที่จำลองมีความแตกต่างกันกับข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคารที่เก็บได้จริงจากอาคารกรณีศึกษาอยู่เพียง  $0.5-1^{\circ}\text{C}$  โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ห้องห้อง จึงได้พิจารณาตรวจสอบ และปรับเปลี่ยนรายละเอียดข้อมูลที่กรอกเข้าไปในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในส่วนของแหล่งที่ทำให้เกิดความร้อนภายในอาคาร (internal heat gain) ซึ่งพบว่ามีค่าไม่ถูกต้องในบางส่วน ไม่ว่าจะเป็น ผู้ใช้อาคาร ระบบเครื่องใช้ไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เพื่อให้เกิดความใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบครั้งที่ 5 ทำให้ได้อุณหภูมิของอาคารจำลองที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้ในการวิจัยได้ อีกทั้งยังได้ทำการคำนวณความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี RMSE (ROOT MEAN SQUARE ERROR) ดังจะแสดงในลำดับต่อไป





ตารางการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิภายในอาคารกรณีศึกษากับการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

วัน/เดือน/ปี	เวลา (ชั่วโมงที่)	การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนั่งเล่น				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน1				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน2			
		อุณหภูมิภายในคำนวณจากโปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายในจากอาคารจริง(°C)	ค่าความคลาดเคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายในคำนวณจากโปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายในจากอาคารจริง(°C)	ค่าความคลาดเคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายในคำนวณจากโปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายในจากอาคารจริง(°C)	ค่าความคลาดเคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน
20/7/2547	1	30.72	29.10	1.62	5.28	30.28	29.91	0.37	1.23	30.56	29.91	0.65	2.13
20/7/2547	2	30.39	28.71	1.68	5.54	29.83	29.50	0.33	1.12	30.22	29.91	0.32	1.05
20/7/2547	3	30.06	28.71	1.35	4.49	29.39	29.50	0.11	0.38	29.83	29.50	0.33	1.12
20/7/2547	4	29.78	28.31	1.47	4.94	29.06	29.10	0.04	0.15	29.56	29.10	0.46	1.54
20/7/2547	5	29.61	28.31	1.31	4.41	28.94	28.71	0.24	0.83	29.33	29.10	0.23	0.80
20/7/2547	6	29.39	27.91	1.48	5.03	28.61	28.31	0.31	1.07	29.06	28.71	0.35	1.20
20/7/2547	7	29.28	27.91	1.37	4.67	28.56	28.31	0.25	0.88	28.89	28.71	0.18	0.63
20/7/2547	8	29.39	28.31	1.08	3.69	28.83	28.31	0.53	1.83	29.00	28.31	0.69	2.39
20/7/2547	9	29.39	28.71	0.68	2.33	29.44	28.71	0.74	2.51	29.22	28.71	0.52	1.77
20/7/2547	10	29.72	29.10	0.62	2.09	30.00	29.10	0.90	3.00	29.67	29.10	0.57	1.91
20/7/2547	11	30.17	29.50	0.67	2.21	30.72	30.31	0.42	1.36	30.39	29.91	0.48	1.59
20/7/2547	12	30.61	29.91	0.71	2.30	31.39	30.71	0.68	2.16	31.06	30.31	0.75	2.42
20/7/2547	13	30.94	30.31	0.64	2.06	31.83	31.12	0.72	2.25	31.56	31.12	0.44	1.39
20/7/2547	14	31.28	30.71	0.57	1.81	32.28	31.52	0.76	2.34	31.89	31.52	0.37	1.15
20/7/2547	15	31.50	31.12	0.38	1.22	32.44	31.93	0.51	1.58	32.11	31.93	0.18	0.55
20/7/2547	16	32.00	31.52	0.48	1.49	32.94	32.34	0.60	1.82	32.39	31.93	0.46	1.41
20/7/2547	17	32.11	31.52	0.59	1.83	33.06	32.34	0.71	2.15	32.56	32.34	0.21	0.65
20/7/2547	18	32.22	31.93	0.29	0.90	33.06	32.76	0.30	0.91	32.61	32.34	0.27	0.82

วัน/เดือน/ปี	เวลา (ชั่วโมงที่)	การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนั่งเล่น				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน1				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน2			
		อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน
20/7/2547	20	31.94	31.12	0.83	2.59	32.28	31.93	0.34	1.07	32.17	31.93	0.23	0.73
20/7/2547	21	31.61	31.12	0.49	1.56	31.72	31.93	0.21	0.67	31.83	31.52	0.31	0.98
20/7/2547	22	31.39	30.71	0.68	2.16	31.28	31.52	0.24	0.78	31.44	31.52	0.08	0.25
20/7/2547	23	31.22	30.31	0.92	2.94	31.06	31.12	0.06	0.20	31.22	31.12	0.11	0.34
20/7/2547	24	31.00	30.31	0.69	2.24	30.78	30.71	0.07	0.22	30.94	31.12	0.17	0.56
21/7/2547	1	30.72	29.91	0.82	2.66	30.33	30.31	0.03	0.09	30.67	30.71	0.04	0.14
21/7/2547	2	30.56	29.50	1.06	3.45	30.11	29.91	0.21	0.68	30.39	30.31	0.08	0.27
21/7/2547	3	30.33	29.10	1.23	4.07	29.83	29.91	0.07	0.24	30.11	29.91	0.21	0.68
21/7/2547	4	30.11	29.10	1.01	3.36	29.56	29.50	0.06	0.19	29.89	29.91	0.02	0.06
21/7/2547	5	30.00	29.10	0.90	3.00	29.39	29.50	0.11	0.38	29.67	29.50	0.17	0.56
21/7/2547	6	29.67	28.71	0.96	3.24	28.94	29.10	0.16	0.54	29.39	29.50	0.11	0.38
21/7/2547	7	29.50	28.71	0.79	2.69	28.83	29.10	0.27	0.92	29.17	29.10	0.07	0.23
21/7/2547	8	29.50	29.10	0.40	1.36	28.94	29.10	0.16	0.54	29.17	29.50	0.33	1.14
21/7/2547	9	29.50	29.50	0.00	0.00	29.17	29.91	0.74	2.53	29.28	29.91	0.63	2.14
21/7/2547	10	30.06	29.91	0.15	0.50	30.06	30.31	0.25	0.83	29.78	30.31	0.53	1.77
21/7/2547	11	30.17	30.31	0.14	0.46	30.56	31.12	0.56	1.84	30.33	31.12	0.78	2.58
21/7/2547	12	30.61	31.12	0.51	1.65	31.17	31.93	0.77	2.46	30.78	31.52	0.74	2.42
21/7/2547	13	30.94	31.52	0.58	1.87	31.67	33.17	1.51	4.75	31.22	32.34	1.12	3.59
21/7/2547	14	31.61	31.93	0.32	1.02	32.61	33.17	0.56	1.72	31.89	32.76	0.87	2.72
21/7/2547	15	31.61	32.34	0.73	2.32	32.61	33.59	0.98	3.00	32.17	32.76	0.59	1.83

วัน/เดือน/ปี	เวลา (ชั่วโมงที่)	การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนั่งเล่น				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน1				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน2			
		อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน
21/7/2547	17	32.06	31.93	0.12	0.38	33.06	33.17	0.12	0.35	32.44	33.17	0.73	2.24
21/7/2547	18	32.22	31.93	0.29	0.90	33.11	32.76	0.36	1.07	32.56	32.76	0.20	0.61
21/7/2547	19	32.11	31.52	0.59	1.83	32.72	32.34	0.38	1.15	32.44	32.34	0.10	0.31
21/7/2547	20	31.72	31.12	0.61	1.91	32.06	31.93	0.12	0.38	32.06	31.93	0.12	0.38
21/7/2547	21	31.50	30.71	0.79	2.50	31.67	31.52	0.14	0.46	31.72	31.52	0.20	0.63
21/7/2547	22	31.33	29.91	1.43	4.56	31.33	31.12	0.22	0.69	31.50	31.12	0.38	1.22
21/7/2547	23	30.94	29.50	1.44	4.67	30.61	30.31	0.31	1.00	31.00	30.31	0.69	2.24
21/7/2547	24	30.50	29.10	1.40	4.59	29.94	29.91	0.04	0.13	30.44	29.91	0.54	1.77
22/7/2547	1	30.17	28.71	1.46	4.84	29.44	29.50	0.06	0.19	29.94	29.50	0.44	1.48
22/7/2547	2	29.78	28.71	1.07	3.60	29.00	29.50	0.50	1.72	29.50	29.50	0.00	0.00
22/7/2547	3	29.50	28.31	1.19	4.05	28.61	29.10	0.49	1.71	29.11	29.10	0.01	0.04
22/7/2547	4	29.22	28.31	0.92	3.14	28.22	28.71	0.48	1.71	28.78	28.71	0.07	0.25
22/7/2547	5	29.00	27.91	1.09	3.75	28.00	28.71	0.71	2.52	28.50	28.71	0.21	0.72
22/7/2547	6	28.78	27.91	0.87	3.01	27.78	28.31	0.53	1.90	28.22	28.31	0.08	0.30
22/7/2547	7	28.56	27.91	0.64	2.26	27.56	28.31	0.75	2.72	28.00	28.31	0.31	1.09
22/7/2547	8	28.50	27.91	0.59	2.07	27.61	27.91	0.30	1.09	28.00	27.91	0.09	0.32
22/7/2547	9	28.61	28.31	0.31	1.07	28.06	28.31	0.25	0.89	28.17	28.31	0.14	0.49
22/7/2547	10	28.89	28.71	0.18	0.63	28.67	28.71	0.04	0.14	28.56	28.71	0.15	0.53
22/7/2547	11	29.28	29.10	0.18	0.61	29.28	29.50	0.22	0.76	29.06	29.10	0.04	0.15
22/7/2547	12	29.78	29.50	0.28	0.93	30.22	30.71	0.49	1.62	29.83	29.91	0.07	0.24

วัน/เดือน/ปี	เวลา (ชั่วโมงที่)	การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนั่งเล่น				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน1				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน2			
		อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน
22/7/2547	14	30.39	30.31	0.08	0.27	31.22	31.52	0.30	0.96	30.89	31.12	0.23	0.74
22/7/2547	15	30.72	30.71	0.01	0.04	31.50	31.52	0.02	0.07	31.11	31.12	0.01	0.02
22/7/2547	16	30.94	30.71	0.23	0.75	31.78	31.52	0.26	0.80	31.33	31.12	0.22	0.69
22/7/2547	17	30.89	30.31	0.58	1.89	31.61	31.52	0.09	0.28	31.33	30.71	0.62	1.99
22/7/2547	18	30.78	30.31	0.47	1.53	31.28	31.12	0.16	0.52	31.17	30.71	0.46	1.46
22/7/2547	19	30.67	30.31	0.36	1.18	31.00	30.71	0.29	0.93	30.94	30.31	0.64	2.06
22/7/2547	20	30.61	29.91	0.71	2.30	30.83	30.71	0.12	0.40	30.78	30.31	0.47	1.53
22/7/2547	21	30.44	29.50	0.94	3.10	30.33	30.31	0.03	0.09	30.50	29.91	0.59	1.95
22/7/2547	22	30.00	29.10	0.90	3.00	29.67	29.91	0.24	0.81	30.00	29.91	0.09	0.31
22/7/2547	23	29.67	28.71	0.96	3.24	29.11	29.50	0.39	1.34	29.56	29.50	0.06	0.19
22/7/2547	24	29.33	28.71	0.63	2.14	28.61	29.10	0.49	1.71	29.11	29.10	0.01	0.04
23/7/2547	1	29.00	28.71	0.29	1.02	28.17	29.10	0.93	3.31	28.67	29.10	0.43	1.51
23/7/2547	2	28.72	28.31	0.42	1.45	27.83	28.71	0.87	3.13	28.33	28.71	0.37	1.31
23/7/2547	3	28.44	28.31	0.14	0.49	27.50	28.31	0.81	2.93	28.00	28.31	0.31	1.09
23/7/2547	4	28.22	27.91	0.31	1.10	27.22	28.31	1.08	3.98	27.72	28.31	0.58	2.10
23/7/2547	5	27.94	27.52	0.43	1.53	26.89	27.91	1.02	3.80	27.39	27.91	0.52	1.91
23/7/2547	6	27.72	27.52	0.21	0.74	26.67	27.52	0.85	3.19	27.17	27.52	0.35	1.29
23/7/2547	7	27.61	27.52	0.09	0.34	26.56	27.52	0.96	3.62	27.00	27.52	0.52	1.91
23/7/2547	8	27.39	27.52	0.13	0.47	26.44	27.52	1.07	4.05	26.83	27.52	0.68	2.55
23/7/2547	9	27.44	27.91	0.47	1.70	26.61	27.52	0.91	3.40	26.89	27.91	1.02	3.80

วัน/เดือน/ปี	เวลา (ชั่วโมงที่)	การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนั่งเล่น				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน1				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน2			
		อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน
23/7/2547	11	27.72	28.71	0.98	3.55	27.28	29.50	2.22	8.15	27.28	29.10	1.82	6.68
23/7/2547	12	28.00	29.50	1.50	5.36	27.89	30.31	2.42	8.67	27.67	29.91	2.24	8.09
23/7/2547	13	28.44	29.50	1.06	3.71	28.67	30.31	1.64	5.72	28.28	29.91	1.63	5.76
23/7/2547	14	29.00	30.31	1.31	4.50	29.56	31.52	1.97	6.65	28.94	31.12	2.17	7.50
23/7/2547	15	29.50	30.71	1.21	4.11	30.28	32.34	2.07	6.83	29.56	31.52	1.97	6.65
23/7/2547	16	30.11	31.12	1.01	3.34	31.00	32.34	1.34	4.34	30.11	31.93	1.82	6.05
23/7/2547	17	30.56	29.91	0.65	2.13	31.50	31.12	0.38	1.22	30.56	30.71	0.16	0.51
23/7/2547	18	30.67	30.31	0.36	1.18	31.44	31.12	0.33	1.04	30.89	30.31	0.58	1.89
23/7/2547	19	30.61	29.91	0.71	2.30	31.33	30.71	0.62	1.99	30.83	29.91	0.93	3.01
23/7/2547	20	30.56	29.50	1.06	3.45	31.00	30.31	0.69	2.24	30.72	29.50	1.22	3.98
23/7/2547	21	30.50	29.50	1.00	3.28	30.67	29.91	0.76	2.48	30.56	29.50	1.06	3.45
23/7/2547	22	30.17	28.71	1.46	4.84	30.11	29.10	1.01	3.36	30.22	29.10	1.12	3.71
23/7/2547	23	30.06	28.31	1.75	5.82	29.83	28.31	1.53	5.12	29.94	27.91	2.03	6.79
23/7/2547	24	29.56	27.91	1.64	5.56	29.11	27.91	1.20	4.12	29.44	27.91	1.53	5.21
24/7/2547	1	29.28	27.52	1.76	6.02	28.67	27.91	0.76	2.64	29.06	27.52	1.54	5.30
24/7/2547	2	29.00	27.12	1.88	6.48	28.28	27.52	0.76	2.69	28.67	27.52	1.15	4.01
24/7/2547	3	28.72	26.73	1.99	6.92	27.89	27.52	0.37	1.33	28.33	27.12	1.21	4.27
24/7/2547	4	28.39	26.73	1.66	5.83	27.50	27.12	0.38	1.37	28.00	27.12	0.88	3.13
24/7/2547	5	28.28	26.73	1.54	5.46	27.39	26.73	0.66	2.39	27.78	26.73	1.04	3.76
24/7/2547	6	28.06	26.73	1.32	4.71	27.11	26.73	0.38	1.39	27.56	26.73	0.82	2.98

วัน/เดือน/ปี	เวลา (ชั่วโมงที่)	การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนั่งเล่น				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน1				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน2			
		อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน
24/7/2547	8	27.83	26.73	1.10	3.95	26.89	26.73	0.16	0.58	27.22	26.73	0.49	1.80
24/7/2547	9	27.94	27.12	0.82	2.94	27.39	27.52	0.13	0.47	27.39	27.12	0.27	0.97
24/7/2547	10	28.33	27.52	0.82	2.88	28.17	28.31	0.14	0.49	27.94	27.91	0.03	0.12
24/7/2547	11	28.61	28.31	0.31	1.07	28.83	29.50	0.67	2.31	28.50	28.71	0.21	0.72
24/7/2547	12	29.06	28.71	0.35	1.20	29.44	29.91	0.46	1.57	29.06	29.50	0.44	1.53
24/7/2547	13	29.44	29.10	0.34	1.17	30.00	31.12	1.12	3.72	29.56	30.31	0.75	2.54
24/7/2547	14	29.83	29.50	0.33	1.12	30.72	31.12	0.39	1.28	30.06	30.71	0.66	2.18
24/7/2547	15	30.22	29.91	0.32	1.05	31.00	31.52	0.52	1.68	30.44	31.12	0.67	2.21
24/7/2547	16	30.67	30.31	0.36	1.18	31.67	31.93	0.27	0.84	30.89	31.52	0.63	2.05
24/7/2547	17	30.94	30.71	0.23	0.75	32.06	32.34	0.29	0.90	31.22	31.93	0.71	2.28
24/7/2547	18	31.17	30.71	0.46	1.46	32.11	32.34	0.23	0.73	31.44	31.52	0.08	0.25
24/7/2547	19	31.11	30.71	0.40	1.29	31.94	31.93	0.01	0.03	31.44	30.71	0.73	2.33
24/7/2547	20	31.00	30.31	0.69	2.24	31.50	31.12	0.38	1.22	31.28	30.31	0.97	3.11
24/7/2547	21	30.67	29.91	0.76	2.48	30.89	30.71	0.18	0.58	30.89	30.31	0.58	1.89
24/7/2547	22	30.44	29.91	0.54	1.77	30.44	30.31	0.14	0.46	30.56	29.91	0.65	2.13
24/7/2547	23	30.17	29.50	0.67	2.21	30.00	30.31	0.31	1.02	30.17	29.91	0.26	0.87
24/7/2547	24	30.00	29.10	0.90	3.00	29.67	29.91	0.24	0.81	29.89	29.50	0.39	1.30
25/7/2547	1	29.83	28.71	1.13	3.78	29.44	29.50	0.06	0.19	29.67	29.10	0.57	1.91
25/7/2547	2	29.61	28.31	1.31	4.41	29.11	29.10	0.01	0.04	29.39	28.71	0.68	2.33
25/7/2547	3	29.39	27.91	1.48	5.03	28.72	28.71	0.02	0.06	29.06	28.71	0.35	1.20

วัน/เดือน/ปี	เวลา (ชั่วโมงที่)	การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนั่งเล่น				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน1				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน2			
		อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน
25/7/2547	5	28.89	27.52	1.37	4.75	28.11	27.91	0.20	0.71	28.50	27.52	0.98	3.45
25/7/2547	6	28.67	27.12	1.54	5.39	27.83	27.52	0.32	1.14	28.22	27.12	1.10	3.90
25/7/2547	7	28.50	27.12	1.38	4.83	27.67	27.52	0.15	0.54	28.06	27.52	0.54	1.92
25/7/2547	8	28.67	27.91	0.76	2.64	28.00	27.91	0.09	0.32	28.17	27.52	0.65	2.31
25/7/2547	9	28.78	27.91	0.87	3.01	28.61	27.91	0.70	2.45	28.44	27.91	0.53	1.87
25/7/2547	10	29.11	28.31	0.81	2.77	29.28	29.10	0.18	0.61	29.00	29.10	0.10	0.34
25/7/2547	11	29.50	29.10	0.40	1.36	29.94	29.91	0.04	0.13	29.56	29.91	0.35	1.18
25/7/2547	12	29.83	29.91	0.07	0.24	30.44	31.12	0.67	2.21	30.06	30.71	0.66	2.18
25/7/2547	13	30.00	30.31	0.31	1.02	30.72	31.52	0.80	2.60	30.39	31.12	0.73	2.39
25/7/2547	14	30.50	30.71	0.21	0.69	31.33	31.93	0.60	1.91	30.78	31.52	0.74	2.42
25/7/2547	15	30.61	31.12	0.51	1.65	31.67	32.76	1.09	3.44	31.11	31.93	0.82	2.64
25/7/2547	16	30.72	29.91	0.82	2.66	31.44	31.52	0.08	0.25	31.11	30.31	0.81	2.59
25/7/2547	17	30.44	29.50	0.94	3.10	30.78	31.12	0.34	1.10	30.78	30.31	0.47	1.53
25/7/2547	18	30.39	29.50	0.89	2.93	30.61	30.71	0.10	0.33	30.56	29.91	0.65	2.13
25/7/2547	19	30.06	29.10	0.96	3.18	30.00	30.31	0.31	1.02	30.17	29.91	0.26	0.87
25/7/2547	20	29.78	29.10	0.68	2.28	29.44	29.91	0.46	1.57	29.78	29.50	0.28	0.93
25/7/2547	21	29.50	28.71	0.79	2.69	29.06	29.50	0.44	1.53	29.39	29.10	0.29	0.98
25/7/2547	22	29.33	28.71	0.63	2.14	28.83	29.10	0.27	0.92	29.11	29.10	0.01	0.04
25/7/2547	23	29.11	28.71	0.41	1.39	28.50	29.10	0.60	2.11	28.83	29.10	0.27	0.92
25/7/2547	24	28.89	28.31	0.58	2.02	28.22	28.71	0.48	1.71	28.56	28.71	0.15	0.53



วัน/เดือน/ปี	เวลา (ชั่วโมงที่)	การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนั่งเล่น				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน1				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน2			
		อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน
26/7/2547	2	28.56	27.91	0.64	2.26	27.78	28.31	0.53	1.90	28.11	28.31	0.19	0.69
26/7/2547	3	28.28	27.91	0.37	1.30	27.50	28.31	0.81	2.93	27.83	28.31	0.47	1.70
26/7/2547	4	28.11	27.91	0.20	0.71	27.28	27.91	0.63	2.32	27.61	27.91	0.30	1.09
26/7/2547	5	28.00	27.52	0.48	1.73	27.17	27.91	0.74	2.74	27.50	27.91	0.41	1.49
26/7/2547	6	27.94	27.52	0.43	1.53	27.17	27.52	0.35	1.29	27.39	27.52	0.13	0.47
26/7/2547	7	27.89	27.52	0.37	1.33	27.06	27.52	0.46	1.70	27.33	27.52	0.18	0.67
26/7/2547	8	27.83	27.52	0.32	1.14	27.11	27.52	0.41	1.50	27.28	27.52	0.24	0.88
26/7/2547	9	27.83	27.91	0.08	0.28	27.33	27.52	0.18	0.67	27.39	27.91	0.52	1.91
26/7/2547	10	28.11	28.31	0.19	0.69	27.89	28.31	0.42	1.49	27.72	28.31	0.58	2.10
26/7/2547	11	28.44	28.71	0.26	0.92	28.56	29.10	0.54	1.91	28.22	29.10	0.88	3.11
26/7/2547	12	28.83	29.50	0.67	2.31	29.17	30.31	1.14	3.90	28.78	30.31	1.53	5.31
26/7/2547	13	29.22	29.91	0.68	2.34	29.89	31.12	1.23	4.11	29.33	31.12	1.78	6.08
26/7/2547	14	29.61	30.31	0.69	2.35	30.39	31.52	1.13	3.73	29.83	31.12	1.28	4.30
26/7/2547	15	30.00	30.71	0.71	2.37	30.83	31.52	0.69	2.23	30.22	31.52	1.30	4.30
26/7/2547	16	30.28	31.12	0.84	2.77	31.11	31.93	0.82	2.64	30.50	31.93	1.43	4.70
26/7/2547	17	30.50	31.12	0.62	2.02	31.50	32.34	0.84	2.68	30.78	31.93	1.16	3.75
26/7/2547	18	30.44	31.12	0.67	2.21	31.33	32.34	1.01	3.23	30.78	31.93	1.16	3.75
26/7/2547	19	30.44	29.91	0.54	1.77	31.06	31.52	0.47	1.50	30.67	30.71	0.04	0.14
26/7/2547	20	30.50	29.50	1.00	3.28	30.94	31.12	0.17	0.56	30.61	30.31	0.31	1.00
26/7/2547	21	30.33	29.50	0.83	2.75	30.56	30.71	0.16	0.51	30.44	30.31	0.14	0.46

วัน/เดือน/ปี	เวลา (ชั่วโมงที่)	การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนั่งเล่น				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน1				การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนภายในห้องนอน2			
		อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน	อุณหภูมิภายใน จำนวนจาก โปรแกรม(°C)	อุณหภูมิภายใน จากอาคารจริง (°C)	ค่าความคลาด เคลื่อน(°C)	คิดเป็น % คลาดเคลื่อน
26/7/2547	23	29.72	29.10	0.62	2.09	29.44	29.91	0.46	1.57	29.67	29.50	0.17	0.56
26/7/2547	24	29.44	28.71	0.74	2.51	28.94	29.50	0.56	1.92	29.28	29.50	0.22	0.76
ค่าความคลาดเคลื่อน โดยเฉลี่ย				0.75	2.52			0.51	1.75			0.56	1.89
ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด				1.99	6.92			2.42	8.67			2.24	8.09
ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยสุด				0.00	0.00			0.01	0.03			0.00	0.00

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร

1. การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางผนังอาคาร (OTTV)

1.1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางผนังอาคารกรณีศึกษา

- ผนังก่อคอนกรีตบล็อกฉนวนเรียบทั้งสองด้าน

ทิศผนังอาคาร		ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TD	SF	SC	Q
เหนือ	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	3	12	-	-	237.6
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	111.4	0.518	26.16
	ชั้น2	ผนังทึบ	8.3	3	12	-	-	298.8
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	111.4	0.57	55.79
	รวม		15.8					618.35
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 39.14 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันออก	ชั้น1	ผนังทึบ	11.7	3	12	-	-	421.2
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.516	146.26
	ชั้น2	ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	17.2	3	12	-	-	619.2
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.485	139.6
	รวม		32.9					1,379.06
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 41.92 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ใต้	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	3	12	-	-	237.6
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	178.2	0.438	64.54
	ชั้น2	ผนังทึบ	4.1	2.2	15	-	-	135.3
		ผนังทึบ	4.2	3	12	-	-	151.2
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	178.2	0.489	138.71
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	178.2	0.319	25.91
	รวม		17					753.26
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 44.31 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันตก	ชั้น1	ผนังทึบ	12.9	3	12	-	-	464.4
		ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	19.6	3	12	-	-	705.6
	รวม		34.1					1,222.80
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 35.86 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ค่า OTTV รวมทั้งอาคาร = 40.31 วัตต์ต่อตารางเมตร								

## 1.2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางผนังอาคาร การปรับปรุงผนังแนวทางที่ 1

- ผนังเบา โครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี ภายนอกกรุซีเมนต์บอร์ด 12 มม. ช่องว่างอากาศ 0.10 ม. ภายในยิปซัมบอร์ด 12 มม

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) การปรับปรุงผนังแนวทางที่ 1								
ทิศผนังอาคาร		ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TD	SF	SC	Q
เหนือ	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	2.5	15	-	-	247.5
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	111.4	0.518	26.16
	ชั้น2	ผนังทึบ	8.3	2.5	15	-	-	311.25
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	111.4	0.57	55.79
	รวม		15.8					640.7
<b>ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 40.55 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								
ตะวันออก	ชั้น1	ผนังทึบ	11.7	2.5	15	-	-	438.75
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.516	146.26
	ชั้น2	ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	17.2	2.5	15	-	-	645
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.485	139.6
	รวม		32.9					1,422.41
<b>ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 43.23 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								
ใต้	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	2.5	15	-	-	247.5
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	178.2	0.438	64.54
	ชั้น2	ผนังทึบ	4.1	2.2	15	-	-	135.3
		ผนังทึบ	4.2	2.5	15	-	-	157.5
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	178.2	0.489	138.71
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	178.2	0.319	25.91
	รวม		17					769.46
<b>ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 45.26 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								
ตะวันตก	ชั้น1	ผนังทึบ	12.9	2.5	15	-	-	483.75
		ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	19.6	2.5	15	-	-	735
	รวม		34.1					1,271.55
<b>ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 37.29 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								
<b>ค่า OTTV รวมทั้งอาคาร = 41.58 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								

## 1.3 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านทางผนังอาคาร การปรับปรุงผนังแนวทางที่ 2

- ผนังเบา โครงเคร่าเหล็กชุบสังกะสี ภายนอกกรุซีเมนต์บอร์ด 12 มม. บุฉนวนกันความร้อนประเภทโฟมโพลีสไตรีน 1" ภายในกรุยิปซัมบอร์ด 12 มม.

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) การปรับปรุงผนังแนวทางที่ 2								
ทิศผนังอาคาร		ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TD	SF	SC	Q
เหนือ	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	1.1	15	-	-	108.9
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	111.4	0.518	26.16
	ชั้น2	ผนังทึบ	8.3	1.1	15	-	-	136.95
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	111.4	0.57	55.79
	รวม		15.8					327.8
<b>ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 20.75 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								
ตะวันออก	ชั้น1	ผนังทึบ	11.7	1.1	15	-	-	193.05
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.516	146.26
	ชั้น2	ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	17.2	1.1	15	-	-	283.8
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.485	139.6
	รวม		32.9					815.51
<b>ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 24.79 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								
ใต้	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	1.1	15	-	-	108.9
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	178.2	0.438	64.54
	ชั้น2	ผนังทึบ	4.1	2.2	15	-	-	135.3
		ผนังทึบ	4.2	1.1	15	-	-	69.3
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	178.2	0.489	138.71
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	178.2	0.319	25.91
	รวม		17					542.66
<b>ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 31.92 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								
ตะวันตก	ชั้น1	ผนังทึบ	12.9	1.1	15	-	-	212.85
		ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	19.6	1.1	15	-	-	323.4
	รวม		34.1					589.05
<b>ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 17.27 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								
<b>ค่า OTTV รวมทั้งอาคาร = 23.68 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>								

1.4 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางผนังอาคาร การปรับปรุงผนังแนวทางที่ 3  
- ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 0.10 ม. ฉาบเรียบทั้งสองด้าน

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) การปรับปรุงผนังแนวทางที่ 3								
ทิศผนังอาคาร		ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TD	SF	SC	Q
เหนือ	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	1.5	15	-	-	148.5
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	111.4	0.518	26.16
	ชั้น2	ผนังทึบ	8.3	1.5	15	-	-	186.75
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	111.4	0.57	55.79
	รวม		15.8					417.2
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 26.41 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันออก	ชั้น1	ผนังทึบ	11.7	1.5	15	-	-	263.25
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.516	146.26
	ชั้น2	ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	17.2	1.5	15	-	-	387
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.485	139.6
	รวม		32.9					988.91
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 30.06 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ใต้	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	1.5	15	-	-	148.5
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	178.2	0.438	64.54
	ชั้น2	ผนังทึบ	4.1	2.2	15	-	-	135.3
		ผนังทึบ	4.2	1.5	15	-	-	94.5
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	178.2	0.489	138.71
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	178.2	0.319	25.91
	รวม		17					607.46
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 35.73 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันตก	ชั้น1	ผนังทึบ	12.9	1.5	15	-	-	290.25
		ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	19.6	1.5	15	-	-	441
	รวม		34.1					784.05
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 22.99 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ค่า OTTV รวมทั้งอาคาร = 28.80 วัตต์ต่อตารางเมตร								

1.5 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางผนังอาคาร การปรับปรุงผนังแนวทางที่ 4  
- ผนังก่ออิฐมวลเบาครึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบทั้งสองด้าน

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) การปรับปรุงผนังแนวทางที่ 4								
ทิศผนังอาคาร		ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TD	SF	SC	Q
เหนือ	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	2.5	12	-	-	198
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	111.4	0.518	26.16
	ชั้น2	ผนังทึบ	8.3	2.5	12	-	-	249
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	111.4	0.57	55.79
	รวม		15.8					528.95
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 33.48 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันออก	ชั้น1	ผนังทึบ	11.7	2.5	12	-	-	351
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.516	146.26
	ชั้น2	ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	17.2	2.5	12	-	-	516
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.485	139.6
	รวม		32.9					1,205.66
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 36.65 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ใต้	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	2.5	12	-	-	198
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	178.2	0.438	64.54
	ชั้น2	ผนังทึบ	4.1	2.2	15	-	-	135.3
		ผนังทึบ	4.2	2.5	12	-	-	126
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	178.2	0.489	138.71
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	178.2	0.319	25.91
	รวม		17					688.46
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 40.50 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันตก	ชั้น1	ผนังทึบ	12.9	2.5	12	-	-	387
		ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	19.6	2.5	12	-	-	588
	รวม		34.1					1,027.80
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 30.14 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ค่า OTTV รวมทั้งอาคาร = 35.19 วัตต์ต่อตารางเมตร								

1.6 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางผนังอาคาร การปรับปรุงผนังแนวทางที่ 5  
- ผนังคอนกรีตบล็อก บุนนวมกันความร้อนประเภทโฟมโพลีสไตรีน 1" ภายในยิปซัมบอร์ด

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) การปรับปรุงผนังแนวทางที่ 5								
ทิศผนังอาคาร		ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TD	SF	SC	Q
เหนือ	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	1.2	12	-	-	95.04
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	111.4	0.518	26.16
	ชั้น2	ผนังทึบ	8.3	1.2	12	-	-	119.52
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	111.4	0.57	55.79
	รวม		15.8					296.51
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 18.77 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันออก	ชั้น1	ผนังทึบ	11.7	1.2	12	-	-	168.48
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.516	146.26
	ชั้น2	ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	17.2	1.2	12	-	-	247.68
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.485	139.6
	รวม		32.9					754.82
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 22.94 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ใต้	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	1.2	12	-	-	95.04
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	178.2	0.438	64.54
	ชั้น2	ผนังทึบ	4.1	2.2	15	-	-	135.3
		ผนังทึบ	4.2	1.2	12	-	-	60.48
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	178.2	0.489	138.71
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	178.2	0.319	25.91
	รวม		17					519.98
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 30.59 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันตก	ชั้น1	ผนังทึบ	12.9	1.2	12	-	-	185.76
		ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	19.6	1.2	12	-	-	282.24
	รวม		34.1					520.80
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 15.27 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ค่า OTTV รวมทั้งอาคาร = 21.89 วัตต์ต่อตารางเมตร								



- 1.7 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางผนังอาคาร การปรับปรุงหน้าต่างแนวทางที่ 1  
- เพิ่มกันสาดแนวนอนชนิดเกล็ดอลูมิเนียมยื่น 1.00 ม.

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) การปรับปรุงหน้าต่างแนวทางที่ 1								
ทิศผนังอาคาร		ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TD	SF	SC	Q
เหนือ	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	3	12	-	-	237.6
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	111.4	0.507	25.79
	ชั้น2	ผนังทึบ	8.3	3	12	-	-	298.8
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	111.4	0.507	51.58
	รวม		15.8					613.77
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 38.85 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันออก	ชั้น1	ผนังทึบ	11.7	3	12	-	-	421.2
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.39	119.19
	ชั้น2	ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	17.2	3	12	-	-	619.2
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.39	119.19
	รวม		32.9					1,331.58
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 40.47 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ใต้	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	3	12	-	-	237.6
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	178.2	0.438	64.54
	ชั้น2	ผนังทึบ	4.1	2.2	15	-	-	135.3
		ผนังทึบ	4.2	3	12	-	-	151.2
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	178.2	0.333	106.62
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	178.2	0.319	25.91
	รวม		17					721.17
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 42.42 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันตก	ชั้น1	ผนังทึบ	12.9	3	12	-	-	464.4
		ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	19.6	3	12	-	-	705.6
	รวม		34.1					1,222.80
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 35.86 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ค่า OTTV รวมทั้งอาคาร = 39.40 วัตต์ต่อตารางเมตร								

1.8 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านทางผนังอาคาร การปรับปรุงหน้าต่างแนวทางที่ 2  
- กระจกสะท้อนแสง (Reflective metallic coating glass)

ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร (OTTV) การปรับปรุงหน้าต่างแนวทางที่ 2								
ทิศผนังอาคาร		ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TD	SF	SC	Q
เหนือ	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	3	12	-	-	237.6
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	111.4	0.454	24.02
	ชั้น2	ผนังทึบ	8.3	3	12	-	-	298.8
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	111.4	0.5	51.11
	รวม		15.8					611.53
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 38.70 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันออก	ชั้น1	ผนังทึบ	11.7	3	12	-	-	421.2
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.453	132.73
	ชั้น2	ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	17.2	3	12	-	-	619.2
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.425	126.71
	รวม		32.9					1,352.64
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 41.11 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ใต้	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	3	12	-	-	237.6
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	178.2	0.384	58.77
	ชั้น2	ผนังทึบ	4.1	2.2	15	-	-	135.3
		ผนังทึบ	4.2	3	12	-	-	151.2
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	178.2	0.424	126.09
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	178.2	0.28	23.82
	รวม		17					732.78
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 43.10 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันตก	ชั้น1	ผนังทึบ	12.9	3	12	-	-	464.4
		ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	19.6	3	12	-	-	705.6
	รวม		34.1					1,222.80
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 35.86 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ค่า OTTV รวมทั้งอาคาร = 39.70 วัตต์ต่อตารางเมตร								

1.8 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางผนังอาคาร แนวทางการปรับปรุงอาคาร  
กรณีศึกษาพร้อม

- ผนังภายนอกชั้นล่างผนังก่ออิฐมวลเบาคึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ
- ผนังภายนอกชั้นบนผนังเบา ภายนอกซีเมนต์บอร์ด โครงเคร่า 0.10 ม. ภายในยิปซัมบอร์ด
- เพิ่มกันสาดแนวนอนชนิดเกล็ดอลูมิเนียมเอน 1.00 ม.

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาพร้อม								
ทิศผนังอาคาร		ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TD	SF	SC	Q
เหนือ	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	2.5	12	-	-	198
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	111.4	0.507	25.79
	ชั้น2	ผนังทึบ	8.3	2.5	15	-	-	311.25
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	111.4	0.507	51.58
	รวม		15.8					586.62
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 37.13 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันออก	ชั้น1	ผนังทึบ	11.7	2.5	12	-	-	351
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.39	119.19
	ชั้น2	ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	17.2	2.5	15	-	-	645
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	179	0.39	119.19
	รวม		32.9					1,287.18
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 39.12 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ใต้	ชั้น1	ผนังทึบ	6.6	2.5	12	-	-	198
		ผนังโปร่งแสง	0.6	5.9	5	178.2	0.438	64.54
	ชั้น2	ผนังทึบ	4.1	2.2	15	-	-	135.3
		ผนังทึบ	4.2	2.5	15	-	-	157.5
		ผนังโปร่งแสง	1.2	5.9	5	178.2	0.333	106.62
		ผนังโปร่งแสง	0.3	5.9	5	178.2	0.319	25.91
	รวม		17					687.87
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 40.46 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ตะวันตก	ชั้น1	ผนังทึบ	12.9	2.5	12	-	-	387
		ผนังทึบ	1.6	2.2	15	-	-	52.8
		ผนังทึบ	19.6	2.5	15	-	-	735
	รวม		34.1					1,174.80
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้รวม = 34.45 วัตต์ต่อตารางเมตร								
ค่า OTTV รวมทั้งอาคาร = 37.79 วัตต์ต่อตารางเมตร								

## 2. การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางหลังคาอาคาร (RTTV)

### 2.1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางหลังคาอาคารกรณีศึกษา

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) อาคารกรณีศึกษา							
ทิศหลังคาอาคาร	ชนิดหลังคา	พื้นที่	U	TD	SF	SC	Q
เหนือ	หลังคาทึบ	1.8	2.2	15	-	-	59.4
ตะวันออก	หลังคาทึบ	26	0.3	28	-	-	218.4
ใต้	หลังคาทึบ	1.8	2.2	15	-	-	59.4
ตะวันตก	หลังคาทึบ	26	0.3	28	-	-	218.4
	รวม	55.6					555.60
<b>ค่า RTTV รวมทั้งอาคาร = 9.99 วัตต์ต่อตารางเมตร</b>							

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ค.

### การกรอกรายละเอียดข้อมูลแบบจำลองอาคารกรณีศึกษาในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

#### 1. การกรอกรายละเอียดข้อมูลนำเข้า (Input) ของอาคารกรณีศึกษา

INPUT LOADS .. GYPSUM-BOARD =MATERIAL  
TITLE LINE-1 \*ATIKOM\* THICKNESS = 0.0417 CONDUCTIVITY = 0.0926  
LINE-2 \*EUR AR THON HOUSE: ORIGINAL DESIGN\* DENSITY = 50 SPECIFIC-HEAT= 0.2 ..  
LINE-3 \*BANGKOK, THAILAND\* .. WOOD-DOOR =MATERIAL  
RUN-PERIOD JAN 1 1999 THRU DEC 31 1999 .. THICKNESS = 0.15 CONDUCTIVITY = 0.5  
ABORT ERRORS .. DENSITY = 25 SPECIFIC-HEAT= 0.33 ..  
DIAGNOSTIC WARNINGS ..  
LOADS-REPORT SUMMARY= (ALL-SUMMARY) WA-1 = LAYERS MATERIAL= (CONCRETE-BLOCK)  
VERIFICATION= (LV-A) .. INSIDE-FILM-RES = 0.68 ..  
BUILDING-LOCATION LATITUDE= 13.9 WA-2 = LAYERS MATERIAL= (GP01,AL21,GP01)  
LONGITUDE= -100.6 INSIDE-FILM-RES = 0.68 ..  
ALTITUDE= 39 TIME-ZONE= -7 RF-1 = LAYERS MATERIAL= (CEMENT-ROOF)  
HOLIDAY= NO INSIDE-FILM-RES = 0.62 ..  
GROSS-AREA= 148 AZIMUTH= 0.0 FL-1 = LAYERS MATERIAL= (CC03)  
DAYLIGHT-SAVINGS= NO INSIDE-FILM-RES = 0.92 ..  
GROUND-T = (82.3,82.6,85.5,85.7,85.9,85.6 CL-1 = LAYERS MATERIAL= (IN11,GYPSUM-BOARD)  
,85.3,84.9,85.1,83.8,82.6,78.9) INSIDE-FILM-RES = 0.92 ..  
SURF-TEMP-CALC = YES .. DR-1 = LAYERS MATERIAL = (WOOD-DOOR)  
INSIDE-FILM-RES = 0.68 ..  
\$ CONSTRUCTION  
\$ WALLS: 4-INCH BRICK WALLS & CEMENT MORTAR WALL-1 =CONSTRUCTION LAYERS=WA-1  
SURFACE ABSORPTANCE=0.30 ..  
\$ ROOF : CONCRETE ROOF WALL-2 =CONSTRUCTION LAYERS=WA-2  
\$ FLOOR: 4-INCH HEAVY WEIGHT CONCRETE SLAB- ABSORPTANCE=0.30 ..  
ON-GRADE ROOF-1 =CONSTRUCTION LAYERS=RF-1  
\$ CEILING: 1/2-INCH GYPSUM BOARD ABSORPTANCE=0.40 ..  
\$ WINDOWS: SINGLE-PANE CLEAR GLASS (U=0.5) FLOOR =CONSTRUCTION LAYERS=FL-1  
\$ DOOR: WOOD ABSORPTANCE=0.40 ..  
CEIL-1 =CONSTRUCTION LAYERS=CL-1  
CONCRETE-BLOCK =MATERIAL ABSORPTANCE=0.40 ..  
THICKNESS = 0.34 CONDUCTIVITY = 0.30 W-1 =GLASS-TYPE PANES=1  
DENSITY = 76.0 SPECIFIC-HEAT= 0.2 .. SHADING-COEF = 0.64  
CEMENT-ROOF =MATERIAL GLASS-CONDUCTANCE=0.80 ..  
THICKNESS = 0.066 CONDUCTIVITY = 0.3450 DOOR-1 =CONSTRUCTION LAYERS=DR-1  
DENSITY = 120 SPECIFIC-HEAT= 0.20 .. ABSORPTANCE=0.40 ..  
CONCRETE-FLOOR =MATERIAL  
THICKNESS = 0.33 CONDUCTIVITY = 0.7576 \$ OCCUPANCY SCHEDULE  
DENSITY = 140.0 SPECIFIC-HEAT= 0.2 .. OC-1 =DAY-SCHEDULE (1,7)(1,0)(8)(0,75)(9)(0,50)

(10,16)(0.25)(17)(0.50)(18,19)(0.75)(20,24)(1.0)..  
 OC-2 =DAY-SCHEDULE (1,8)(1.0)(9,10)(0.75)  
 (11,17)(0.50)(18,19) (0.75)(20,24)(1.0)..  
 OC-WEEK=WEEK-SCHEDULE (WD) OC-1 (WEH) OC-2 ..  
 OCCUPY-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 OC-WEEK ..

\$ LIGHTING SCHEDULE  
 LT-1=DAY-SCHEDULE (1,6)(0.25)(7,17)(0.05)(18)  
 (0.25)(19)(0.5)(20,21)(0.75) (22)(0.5)(23,24)(0.25)..  
 LT-2 =DAY-SCHEDULE (1,7)(0.25)(8,17)(0.05)(18)  
 (0.25)(19)(0.5)(20,21)(0.75)(22)(0.5)(23,24)(0.25) ..  
 LT-WEEK =WEEK-SCHEDULE (WD) LT-1 (WEH) LT-2 ..  
 LIGHTS-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 LT-WEEK ..

\$ EQUIPMENT SCHEDULE  
 EQ-1 =DAY-SCHEDULE (1,6)(0.05)(7,8)(0.5)  
 (9,17)(0.25)(18,21)(0.5) (22,24)(0.25) ..  
 EQ-2 =DAY-SCHEDULE (1,7)(0.05)(8,12)(0.5)  
 (13,17)(0.25)(18,22)(0.5) (23,24)(0.25)..  
 EQ-WEEK =WEEK-SCHEDULE (WD) EQ-1 (WEH) EQ-2 ..  
 EQUIP-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 EQ-WEEK ..

\$ INFILTRATION SCHEDULE  
 ALLVENT-T =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,24)(1) ..  
 NOVENT-T =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,24)(0) ..  
 DAY-WD =DAY-SCHEDULE (1,8)(0.0)(9,12)(1.0)  
 (13,17)(1.0)(18,24)(0.0)..  
 DAY-WE =DAY-SCHEDULE (1,8)(0.0)(9,12)(0.0)  
 (13,17)(0.0)(18,24)(0.0)..  
 DAY-WK =WEEK-SCHEDULE (WD) DAY-WD (WEH)  
 DAY-WE ..  
 DAYVENT-T =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,8)(0)  
 (9,20)(1) (21,24) (0) ..  
 NIGHTVENT-T =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,8)(1)  
 (9,20)(0) (21,24) (1) ..

\$ SET DEFAULT VALUES  
 SET-DEFAULT FOR SPACE FLOOR-WEIGHT=0 ..

\$ GENERAL SPACE DEFINITION  
 BEDROOM =SPACE-CONDITIONS  
 TEMPERATURE =(72)  
 PEOPLE-SCHEDULE =OCCUPY-1  
 PEOPLE-HEAT-GAIN =400  
 LIGHTING-SCHEDULE =LIGHTS-1

LIGHTING-TYPE =REC-FLUOR-NV  
 LIGHT-TO-SPACE =0.75  
 LIGHTING-W/SQFT =0.75  
 EQUIP-SCHEDULE =EQUIP-1  
 EQUIPMENT-W/SQFT =1.0  
 INF-METHOD =AIR-CHANGE  
 INF-SCHEDULE =ALLVENT-T  
 AIR-CHANGES/HR =1.5 ..

\$ SPECIFIC SPACE DETAILS  
 \$ 1st FLOOR  
 LIVING =SPACE ZONE TYPE=UNCONDITIONED  
 AREA=137.5 VOLUME=1189.4  
 SHAPE=BOX HEIGHT=8.65  
 WIDTH=9 DEPTH=15.30  
 NUMBER-OF-PEOPLE=2  
 INF-METHOD =AIR-CHANGE  
 INF-SCHEDULE =DAYVENT-T  
 AIR-CHANGES/HR =25 ..  
 FRONT1-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=9 X=0 Y=11.65 Z=0  
 INSIDE-SURF-TEMP = YES  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 DF1-1 = DOOR WIDTH=2.65 HEIGHT=6.6 X=5.85 Y=0  
 SETBACK=0.0 CONSTRUCTION=DOOR-1 ..  
 WF1-1 =WINDOW WIDTH=1.85 HEIGHT=3.6 X=3 Y=3  
 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..  
 CARPORT1-1 = BUILDING-SHADE HEIGHT=11.65  
 WIDTH=9 TRANSMITTANCE = 0.0 X=0 Y=0  
 Z=8.65 AZIMUTH=180 TILT=00 ..  
 CARPORT1-2 = BUILDING-SHADE HEIGHT=2  
 WIDTH=4.5 TRANSMITTANCE = 0.0 X=0  
 Y=-2 Z=8.65 AZIMUTH=180 TILT=00 ..  
 RIGHT1-1=EXTERIOR-WALLAZIMUTH=90 HEIGHT=8.650  
 WIDTH=17.50 X=9 Y=11.65 Z=0  
 INSIDE-SURF-TEMP = YES  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 WR1-1 =WINDOW WIDTH=3.70 HEIGHT=3.6 X=4.40  
 Y=3 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..  
 CARPORT1-3 = BUILDING-SHADE HEIGHT=2.35  
 WIDTH=12.50 TRANSMITTANCE = 0.0  
 X=11.35 Y=11.65 Z=8.65 AZIMUTH=90 TILT=00 ..  
 BACK1-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0 HEIGHT=8.650  
 WIDTH=5 X=9 Y=29.15 Z=0  
 INSIDE-SURF-TEMP = YES

CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO LIVING  
 CONSTRUCTION=DOOR-1 ..  
 DB1-1 = DOOR WIDTH=2.65 HEIGHT=6.6 X=0.35 Y=0  
 SETBACK=0.0 CONSTRUCTION=DOOR-1 ..  
 WB1-1 =WINDOW WIDTH=1 HEIGHT=3.6  
 X=3 Y=3 SETBACK=0.0GLASS-TYPE = W-1 ..  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 BACK1-2 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=0  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=4 X=4 Y=24.15 Z=0  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO TOILET  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 LEFT1-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=12.50  
 X=0 Y=24.15 Z=0 INSIDE-SURF-TEMP = YES  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 LEFT1-2 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=5 X=4 Y=29.15 Z=0  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO TOILET  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 DL1-1 = INTERIOR-WALL AZIMUTH=270 HEIGHT=6.6  
 WIDTH=2.65 X=4 Y=27.15 Z=0  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO TOILET  
 CONSTRUCTION=DOOR-1 ..  
 CEILING1-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180  
 AREA=137.5 TILT=0 X=0 Y=11.65 Z=8  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 NEXT-TO BEDROOM2  
 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..  
 FLOOR1-1=UNDERGROUND-FLOOR AZIMUTH=180  
 AREA=44 TILT=0 X=0 Y=11.65 Z=0  
 CONSTRUCTION=FLOOR ..  
 TOILET =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED  
 AREA=20.00 VOLUME=173.00 SHAPE=BOX  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=4 DEPTH=5  
 NUMBER-OF-PEOPLE=1 ..  
 FRONT2-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=4 X=0 Y=24.15 Z=0  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 NEXT-TO LIVING CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 RIGHT2-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=90  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=5 X=4 Y=24.15 Z=0  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO LIVING  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 DR2-1 = INTERIOR-WALL AZIMUTH=90 HEIGHT=6.6  
 WIDTH=2.65 X=4 Y=24.5 Z=0  
 BACK2-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0 HEIGHT=8.650  
 WIDTH=4 X=4 Y=29.15 Z=0  
 INSIDE-SURF-TEMP = YES  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 LEFT2-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=5 X=0 Y=29.15 Z=0  
 INSIDE-SURF-TEMP = YES  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 CEILING2-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180  
 AREA=20.00 TILT=0 X=0 Y=24.15 Z=7  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 NEXT-TO ATTIC-2 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..  
 FLOOR2-1=UNDERGROUND-FLOOR AZIMUTH=180  
 AREA=18 X=0 Y=24.15 Z=0  
 CONSTRUCTION=FLOOR ..  
 \$ 2 nd FLOOR  
 BEDROOM1 =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED  
 AREA=113.4 VOLUME=980.7 SHAPE=BOX  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=9 DEPTH=12.60  
 NUMBER-OF-PEOPLE=2  
 INF-METHOD =AIR-CHANGE  
 INF-SCHEDULE =NIGHTVENT-T  
 AIR-CHANGES/HR =25 ..  
 FRONT3-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=4.50  
 X=0 Y=-2 Z=8.650 INSIDE-SURF-TEMP = YES  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 FRONT3-2 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=4.50 X=4.50 Y=0 Z=8.650  
 INSIDE-SURF-TEMP=YES CONSTRUCTION=WALL-1..  
 WF3-1 =WINDOW WIDTH=3.70 HEIGHT=3.6  
 X=0.4 Y=3 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1..  
 CARPORT3-1 = BUILDING-SHADE HEIGHT=2  
 WIDTH=4.50 TRANSMITTANCE = 0.0  
 X=4.50 Y=-2 Z=17.3 AZIMUTH=180 TILT=00 ..  
 RIGHT3-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90  
 HEIGHT=11.45 WIDTH=2 X=4.5 Y=-2 Z=8.650  
 INSIDE-SURF-TEMP = YES  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 RIGHT3-2 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=11.65  
 X=9 Y=0 Z=8.650 INSIDE-SURF-TEMP = YES

CONSTRUCTION=WALL-1 .. HEIGHT=8.650 WIDTH=2.35 X=9 Y=11.65  
 WR3-1 =WINDOW WIDTH=3.70 HEIGHT=3.6 Z=8.650 INSIDE-SURF-TEMP = YES  
 X=3.9 Y=3 SETBACK=0.0 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 GLASS-TYPE = W-1 .. WF4-1 =WINDOW WIDTH=1 HEIGHT=3.6 X=0.5 Y=3  
 BACK3-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=0 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=9 RIGHT4-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90  
 X=9 Y=11.65 Z=8.650 HEIGHT=7.18 WIDTH=12.50  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD X=11.35 Y=11.65 Z=8.650  
 NEXT-TO BEDROOM2 INSIDE-SURF-TEMP = YES  
 CONSTRUCTION=WALL-2 .. CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 DB3-1 = INTERIOR-WALL AZIMUTH=0 BACK4-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0  
 HEIGHT=6.6 WIDTH=2.65 HEIGHT=8.650 WIDTH=7.85 X=11.35 Y=24.15  
 X=3 Y=11.65 Z=8.650 Z=8.650 INSIDE-SURF-TEMP = YES  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 NEXT-TO ST-HALL WB4-1 =WINDOW WIDTH=1.85 HEIGHT=3.6  
 CONSTRUCTION=DOOR-1.. X=3.80 Y=3 SETBACK=0.0  
 GLASS-TYPE = W-1 ..  
 LEFT3-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270 LEFT4-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=270  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=13.65 HEIGHT=8.650 WIDTH=12.50  
 X=0 Y=11.65 Z=8.650 X=3.5 Y=24.15 Z=8.650  
 INSIDE-SURF-TEMP = YES INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 CONSTRUCTION=WALL-1 .. NEXT-TO ST-HALL  
 CEILING3-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 CONSTRUCTION=WALL-2 ..  
 AREA=113.4 TILT=0 X=0 Y=0 Z=16.65 DL4-1 = INTERIOR-WALL AZIMUTH=270 HEIGHT=6.6  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD WIDTH=2.65 X=3.5 Y=14.65 Z=8.650  
 NEXT-TO ATTIC-1 CONSTRUCTION=CEIL-1 .. INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 FLOOR3-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=113.4 NEXT-TO ST-HALL  
 TILT=0 X=0 Y=0 Z=8.650 CONSTRUCTION=DOOR-1 ..  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD CEILING4-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=70  
 NEXT-TO LIVING CONSTRUCTION=FLOOR.. TILT=0 X=3.5 Y=11.65 Z=16.65  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 BEDROOM2 =SPACE ZONE TYPE=UNCONDITIONED INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 AREA=98.1 VOLUME=848.8 SHAPE=BOX NEXT-TO ATTIC-1 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=7.85 DEPTH=12.50 FLOOR4-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=98.1  
 NUMBER-OF-PEOPLE=1 TILT=0 X=3.5 Y=11.65 Z=8.650  
 INF-METHOD =AIR-CHANGE INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 INF-SCHEDULE =NIGHTVENT-T NEXT-TO LIVING CONSTRUCTION=FLOOR ..  
 AIR-CHANGES/HR =25 ..  
 FRONT4-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 ST-HALL =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=5.5 AREA=43.8 VOLUME=378.4  
 X=3.5 Y=11.65 Z=8.650 SHAPE=BOX HEIGHT=8.650  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD WIDTH=3.5 DEPTH=12.50  
 NEXT-TO BEDROOM1 NUMBER-OF-PEOPLE=1  
 CONSTRUCTION=WALL-2 .. INF-METHOD =AIR-CHANGE  
 FRONT4-2 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180 INF-SCHEDULE =NIGHTVENT-T  
 AIR-CHANGES/HR =25 ..



FRONT5-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=3.5 X=0 Y=11.65  
 Z=8.650 INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 NEXT-TO BEDROOM1  
 CONSTRUCTION=WALL-2 ..  
 DF5-1 = INTERIOR-WALL AZIMUTH=180  
 HEIGHT=6.6 WIDTH=2.65 X=0.35 Y=11.65  
 Z=8.650 INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 NEXT-TO BEDROOM1  
 CONSTRUCTION=DOOR-1 ..  
 RIGHT5-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=90  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=12.50  
 X=3.5 Y=11.65 Z=8.650  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 NEXT-TO BEDROOM2  
 CONSTRUCTION=WALL-2 ..  
 DR5-1 = INTERIOR-WALL AZIMUTH=90  
 HEIGHT=6.6 WIDTH=2.65  
 X=3.5 Y=12 Z=8.650  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 NEXT-TO BEDROOM2  
 CONSTRUCTION=DOOR-1 ..  
 BACK5-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=3.5  
 X=3.5 Y=24.15 Z=8.650  
 INSIDE-SURF-TEMP = YES  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 LEFT5-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270  
 HEIGHT=8.650 WIDTH=12.50  
 X=0 Y=24.15 Z=8.650  
 INSIDE-SURF-TEMP = YES  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 CEILING5-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180  
 AREA=43.8 TILT=0 X=0 Y=11.65 Z=16.65  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 NEXT-TO ATTIC-1 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..  
 FLOOR5-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=43.8  
 TILT=0 X=0 Y=11.65 Z=8.650  
 INT-WALL-TYPE=STANDARD  
 NEXT-TO LIVING CONSTRUCTION=FLOOR..  
 AIR-1 =SPACE SPACE-CONDITIONS = BEDROOM  
 AREA=1 VOLUME=1 SHAPE=BOX HEIGHT=1  
 WIDTH=1 DEPTH=1 NUMBER-OF-PEOPLE=1..  
 FRONT6-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180  
 HEIGHT=1 WIDTH=1 X=25 Y=25 Z=0  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 RIGHT6-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90  
 HEIGHT=1 WIDTH=1 X=26 Y=25 Z=0  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 BACK6-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0  
 HEIGHT=1 WIDTH=1 X=26 Y=26 Z=0  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 LEFT6-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270  
 HEIGHT=1 WIDTH=1 X=25 Y=26 Z=0  
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..  
 FLOOR6-1=UNDERGROUND-FLOOR AZIMUTH=180  
 AREA=4 X=25 Y=25 Z=0  
 CONSTRUCTION=FLOOR ..  
 ROOF6-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0 HEIGHT=1  
 WIDTH=1 TILT=0 X=26 Y=26 Z=1  
 CONSTRUCTION=ROOF-1 ..  
 ATTIC-1 =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED  
 AREA=351.78 SHAPE=BOX HEIGHT=3  
 =9 DEPTH=24.15 NUMBER-OF-PEOPLE=0 ..  
 ROOF-R71 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90  
 HEIGHT=8.07 WIDTH=12.50  
 TILT=32 X=11.35 Y=11.65 Z=15.83  
 CONSTRUCTION=ROOF-1 ..  
 ROOF-R72 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90  
 HEIGHT=5.30 WIDTH=11.65  
 TILT=32 X=9 Y=0 Z=17.30  
 CONSTRUCTION=ROOF-1 ..  
 ROOF-L71 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270  
 HEIGHT=5.30 WIDTH=26.15  
 TILT=32 X=0 Y=24.15 Z=17.30  
 CONSTRUCTION=ROOF-1 ..  
 CARPORT-R71= BUILDING-SHADE HEIGHT=8.07  
 WIDTH=2.65 TRANSMITTANCE = 0.0  
 X=11.35 Y=24.15 Z=15.83  
 AZIMUTH=90 TILT=32 ..  
 CARPORT-R72= BUILDING-SHADE HEIGHT=2.77  
 WIDTH=11.65 TRANSMITTANCE = 0.0  
 X=11.35 Y=0 Z=15.83  
 AZIMUTH=90 TILT=32 ..  
 CARPORT-R73= BUILDING-SHADE HEIGHT=8.07  
 WIDTH=2.65 TRANSMITTANCE = 0.0

```

X=11.35 Y=-2.65 Z=15.83
AZIMUTH=90 TILT=32 ..
CARPORT-L71= BUILDING-SHADE HEIGHT=8.07
WIDTH=2.65 TRANSMITTANCE = 0.0
X=-2.35 Y=26.8 Z=15.83
AZIMUTH=270 TILT=32 ..
CARPORT-L72= BUILDING-SHADE HEIGHT=2.77
WIDTH=26.15 TRANSMITTANCE = 0.0
X=-2.35 Y=24.15 Z=15.83
AZIMUTH=270 TILT=32 ..
CARPORT-L73= BUILDING-SHADE HEIGHT=8.07
WIDTH=0.65 TRANSMITTANCE = 0.0
X=-2.35 Y=-2 Z=15.83
AZIMUTH=270 TILT=32 ..
ATTIC-2 =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED
AREA=30 SHAPE=BOX HEIGHT=1.33
WIDTH=9 DEPTH=5 NUMBER-OF-PEOPLE=0 ..
ROOF-B81 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
HEIGHT=5.17 WIDTH=9
TILT=15 X=9 Y=29.15 Z=8.65
CONSTRUCTION=ROOF-1 ..
CARPORT-B81= BUILDING-SHADE HEIGHT=2.74
WIDTH=9 TRANSMITTANCE = 0.0
X=9 Y=31.8 Z=7.93 AZIMUTH=0 TILT=15 ..
CARPORT-SR1= BUILDING-SHADE HEIGHT=18
WIDTH=29.15 TRANSMITTANCE = 0.0
X=20 Y=0 Z=0 AZIMUTH=90 TILT=90 ..
CARPORT-SL1= BUILDING-SHADE HEIGHT=18
WIDTH=29.15 TRANSMITTANCE = 0.0
X=-11 Y=29.15 Z=0 AZIMUTH=270 TILT=90 ..

$ LOADS HOURLY REPORT
HR-SCH-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,24) (1) ..
LRB-1 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= GLOBAL
VARIABLE-LIST=(3,4,13,14,15,17,19) ..
$ wbt3, dbt4, solar131415, wind speed17 & direction19 $
LRB-2 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= GLOBAL
VARIABLE-LIST=(50,51,36,37) ..
$ sol altitude50, azimuth51, beam36, diffuse rad37 $
LRB-3 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= LIVING
VARIABLE-LIST=(4,9,10,11,12,13) ..
$ delayed wall gain4, door conduction gain9 $
$ equipment sensible gain10 $

$ source11, people12, light sensible gain13 $
$ LDS-REP-1 =HOURLY-REPORT REPORT-
SCHEDULE=HR-SCH-1
$ REPORT-BLOCK=(LRB-9) .. $
END ..
COMPUTE LOADS ..
INPUT SYSTEMS ..
SYSTEMS-REPORT SUMMARY=(SS-A) ..
$ SCHEDULES
HEAT-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,24) (45) ..
COOL-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,6)(78)
(7,22)(150) (23,24)(78) ..
COOL-2 =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,10)(150)
(11,18)(78) (19,24)(150) ..
NOVENT-1=SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,24)(0) ..
DAYVENT-1=SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,5)(0)
(6,18)(1) (19,24) (0) ..
NIGHTVENT-2=SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,5)(1)
(6,18)(0) (19,24) (1) ..
$ ZONE DATA
AIR-1 ZONE DESIGN-HEAT-T=50
DESIGN-COOL-T=100
ZONE-TYPE=CONDITIONED
THERMOSTAT-TYPE=TWO-POSITION
HEAT-TEMP-SCH=HEAT-1
COOL-TEMP-SCH=COOL-2 ..
LIVING =ZONE ZONE-TYPE = UNCONDITIONED ..
TOILET =ZONE ZONE-TYPE = UNCONDITIONED ..
BEDROOM1 =ZONE ZONE-TYPE = UNCONDITIONED..
BEDROOM2 =ZONE ZONE-TYPE = UNCONDITIONED ..
ST-HALL =ZONE ZONE-TYPE = UNCONDITIONED ..
ATTIC-1 =ZONE ZONE-TYPE = UNCONDITIONED ..
ATTIC-2 =ZONE ZONE-TYPE = UNCONDITIONED ..
$ AIR CONDITIONER
SYS-1 =SYSTEM SYSTEM-TYPE=RESYS
ZONE-NAMES=(AIR-1,LIVING,TOILET,BEDROOM1,
BEDROOM2,ST-HALL,ATTIC-1,ATTIC-2)
MAX-SUPPLY-T=140 MIN-SUPPLY-T=50
NATURAL-VENT-AC=100

```

```

NATURAL-VENT-SCH=NOVENT-1 ..                                $ zone temp, thermal conductance
                                                            $ avg temp, total zone cooling energy input
PLANT-1 =PLANT-ASSIGNMENT                                    $ MRT, OT
    SYSTEM-NAMES=(SYS-1) ..                                  SRB-6 =REPORT-BLOCK    VARIABLE-TYPE= GLOBAL
                                                            VARIABLE-LIST=(4,8) ..
$ SYSTEM HOURLY REPORT                                        $ zone temp, thermal conductance
HR-SCH-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,24) (1) ..        $ avg temp, total zone cooling energy input
HR-SCH-2 =SCHEDULE THRU JAN 16 (ALL) (1,24) (0)           $ MRT, OT
    THRU JAN 22 (ALL) (1,24) (1)
    THRU DEC 31 (ALL) (1,24) (0) ..                          SYS-REP-1 =HOURLY-REPORT
                                                            REPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
SRB-1 =REPORT-BLOCK    VARIABLE-TYPE= LIVING                REPORT-BLOCK=(SRB-1) ..
    VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..
    $ zone temp, thermal conductance
    $ avg temp, total zone cooling energy input
    $ MRT, OT
SRB-2 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= BEDROOM1                 SYS-REP-2 =HOURLY-REPORT
    VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..                        REPORT- SCHEDULE=HR-SCH-1
    $ zone temp, thermal conductance                          REPORT-BLOCK=(SRB-2) ..
    $ avg temp, total zone cooling energy input
    $ MRT, OT
SRB-3 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= BEDROOM2                 SYS-REP-3 =HOURLY-REPORT
    VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..                        REPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
    $ zone temp, thermal conductance                          REPORT-BLOCK=(SRB-3) ..
    $ avg temp, total zone cooling energy input
    $ MRT, OT
SRB-4 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= BEDROOM2                 SYS-REP-4 =HOURLY-REPORT
    VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..                        REPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
    $ zone temp, thermal conductance                          REPORT-BLOCK=(SRB-4) ..
    $ avg temp, total zone cooling energy input
    $ MRT, OT
SRB-5 =REPORT-BLOCK    VARIABLE-TYPE= ST-HALL                SYS-REP-5 =HOURLY-REPORT
    VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..                        REPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
    $ zone temp, thermal conductance                          REPORT-BLOCK=(SRB-5) ..
    $ avg temp, total zone cooling energy input
    $ MRT, OT
SRB-6 =REPORT-BLOCK    VARIABLE-TYPE= ST-HALL                SYS-REP-6 =HOURLY-REPORT
    VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..                        REPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
    $ zone temp, thermal conductance                          REPORT-BLOCK=(SRB-6) ..
    $ avg temp, total zone cooling energy input
    $ MRT, OT
SRB-7 =REPORT-BLOCK    VARIABLE-TYPE= ST-HALL                END ..
    VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..                        COMPUTE SYSTEMS ..
    $ zone temp, thermal conductance                          STOP ..
    $ avg temp, total zone cooling energy input
    $ MRT, OT
SRB-8 =REPORT-BLOCK    VARIABLE-TYPE= ATTIC-1
    VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..
    $ zone temp, thermal conductance
    $ avg temp, total zone cooling energy input
    $ MRT, OT

```

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นายอติคม วิมลวัตรเวที

เกิด 12 เมษายน 2522

### การศึกษา

- ระดับประถมศึกษา โรงเรียนวัดสระแก้ว
- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย
- ระดับอุดมศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ.นครราชสีมา
- เข้าศึกษาหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการออกแบบสถาปัตยกรรม (เน้นเทคโนโลยี) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย